

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA**



**CIRCUITO CARGADOR DE BATERÍAS CON INVERSOR  
INTEGRADO PARA PANELES SOLARES DE ALTA TENSIÓN**

**AUTOR:** Manuel Convalia Conde

**TUTOR:** Luis Hernández Corporales

Junio 2015



## *Agradecimientos*

*A la memoria de mi abuelo, no podría haber  
llegado hasta aquí sin todo lo que me enseñó, sé  
que esté donde esté, estará orgulloso.*

*A mi familia, en especial a mis padres por todo su  
apoyo, su esfuerzo y su comprensión durante el  
transcurso de la carrera.*

*A los técnicos del área de tecnología electrónica,  
los dos Jesús, César y Agustín, por su ayuda para  
la realización de este proyecto y por todo lo que  
me enseñaron cuando trabajé con ellos.*

*A mis compañeros de trabajo por todo el apoyo y  
las lecciones que me dan día a día, en especial a  
Pablo, Víctor y Manu.*

*Por último a mis amigos y compañeros de carrera  
porque sin ellos puede que hubiese sido  
ingeniero, pero habría sido mucho más aburrido.*





# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1.	RESUMEN	2
1.2.	PROBLEMA A RESOLVER	3
1.3.	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	3
1.3.1.	VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS:	4
1.3.2.	TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS:	4
1.4.	ESTUDIO DEL ARTE	6
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA</b>	<b>8</b>
2.1.	DIAGRAMA DE BLOQUES	9
2.2.	REQUISITOS DEL SISTEMA	12
2.2.1.	REQUISITOS DE MEDIDA DE CORRIENTE DE LOS PANELES SOLARES	12
2.2.2.	REQUISITOS DEL BLOQUE BATERÍAS	13
2.2.3.	REQUISITOS MEDIDA DE CORRIENTE DE LAS BATERÍAS	13
2.2.4.	REQUISITOS MEDIDA TENSIÓN DE LAS BATERÍAS	13
2.2.5.	BLOQUE DC/AC	14
2.2.6.	BLOQUE DE CONMUTADORES:	14
2.2.7.	INDICADORES LED	15
2.2.8.	CPU	16
2.3.	ELECCIÓN DE COMPONENTES	17
2.3.1.	AD620	17
2.3.2.	IRF530	18
2.3.3.	RELÉ G5LE-14 DC5 DE OMROM	19
2.3.4.	TRANSFORMADOR 68-4 DE SIGNAL TRANSFORMER	19
2.3.5.	CPU	20
2.3.6.	TL2575HV-ADJ (CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN DEL RESTO DE DISPOSITIVOS)	21
2.3.7.	REF03 (REFERENCIA DE TENSIÓN DE 2.5V)	22



### **CAPÍTULO 3 DISEÑO DE HARDWARE** **23**

<b>3.1. ESQUEMA GENERAL DE HARDWARE</b>	<b>24</b>
<b>3.2. JUSTIFICACIÓN DE DISEÑO POR BLOQUES</b>	<b>26</b>
3.2.1. JUSTIFICACIÓN CIRCUITO PRINCIPAL	26
3.2.2. CIRCUITO DE POTENCIA Y REFERENCIA DE TENSIÓN:	31
3.2.3. CIRCUITO DE MEDICIÓN DE TENSIÓN DE BATERÍAS	33
3.2.4. MEDICIÓN CORRIENTE PANELES Y MEDICIÓN CORRIENTE BATERÍAS	35
3.2.5. MEDICIÓN SALIDA AD	39
3.2.6. CPU	40
3.2.7. CIRCUITO DE ALARMAS	41

### **CAPÍTULO 4 DISEÑO DE SOFTWARE** **43**

<b>4.1. FUNCIONALIDAD REQUERIDA PARA EL SOFTWARE</b>	<b>45</b>
4.1.1. GESTIÓN DE LA BATERÍA	45
4.1.2. MEDICIÓN DE CORRIENTES	45
4.1.3. CONTROL DE LA SALIDA AC	45
4.1.4. INDICADORES LED	45
<b>4.2. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL</b>	<b>47</b>
4.2.1. VARIABLES DE CONTROL DE FLUJO DEL PROGRAMA GENERAL	48
4.2.2. VARIABLES SIGNIFICATIVAS DEL PROGRAMA	48
4.2.3. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO GENERAL DEL PROGRAMA	49
<b>4.3. NIVEL BATERÍA</b>	<b>51</b>
<b>4.4. SALIDA AC</b>	<b>54</b>
<b>4.5. LED</b>	<b>55</b>
<b>4.6. MEDICIÓN DE CORRIENTE</b>	<b>56</b>
<b>4.7. CICLO DE CONTROL DE LA SALIDA AC</b>	<b>58</b>
<b>4.8. MENSAJE RECIBIDO POR EL PUERTO SERIE</b>	<b>59</b>
<b>4.9. CONSIDERACIONES POSTERIORES AL DISEÑO</b>	<b>59</b>



<b><u>CAPÍTULO 5</u></b>	<b><u>CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS</u></b>	<b><u>60</u></b>
5.1.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	61
5.2.	PLAN DE PRUEBAS	63
5.2.1.	MEDIDA DE LA CORRIENTE DE LAS PLACAS SOLARES	63
5.2.2.	MEDIDA DE LA TENSIÓN DE LAS BATERÍAS	65
5.2.3.	PRUEBA SALIDA AC	67
5.3.	RESULTADOS	70
5.3.1.	MEDIDA DE CORRIENTE	70
5.3.2.	MEDIDA DE TENSIÓN DE LAS BATERÍAS	75
5.3.3.	SALIDA AC	88
<b><u>CAPÍTULO 6</u></b>	<b><u>PLANIFICACIÓN</u></b>	<b><u>95</u></b>
<b><u>CAPÍTULO 7</u></b>	<b><u>ESTUDIO ECONÓMICO</u></b>	<b><u>99</u></b>
<b><u>CAPÍTULO 8</u></b>	<b><u>CONCLUSIONES</u></b>	<b><u>102</u></b>
<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>		<b><u>105</u></b>
<b><u>ANEXO I</u></b>	<b><u>GERBER DE FABRICACIÓN TOP Y BOTTOM</u></b>	<b><u>I</u></b>
<b><u>ANEXO II</u></b>	<b><u>PROGRAMA SOFTWARE COMPLETO</u></b>	<b><u>III</u></b>
<b><u>ANEXO III</u></b>	<b><u>DATASHEETS</u></b>	<b><u>X</u></b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema general de la instalación .....	2
Figura 2: Prototipo fabricado .....	3
Figura 3: Funcionamiento de paneles fotovoltaicos tándem.....	6
Figura 4: Diagrama de bloques del sistema completo .....	10
Figura 5: Configuración SPDT .....	19
Figura 6: Esquemático general .....	25
Figura 7: Ciclo positivo transformador.....	27
Figura 8: Ciclo negativo transformador.....	28
Figura 9: Esquemático circuito principal .....	30
Figura 10: Esquemático de Potencia y referencia de tensión. ....	31
Figura 11: Esquemático de medición de las baterías. ....	33
Figura 12: Esquemático medición de corriente de baterías. ....	37
Figura 13: Esquemático medición de corriente de las baterías .....	38
Figura 14: Esquemático de medición salida AC.....	39
Figura 15: Esquemático CPU .....	40
Figura 16: Configuración de puertas not.....	41
Figura 17: Esquemático circuito de alarmas. ....	41
Figura 18: Diagrama de flujo general. ....	47
Figura 19: Diagrama de flujo de NIVEL BATERÍA .....	52
Figura 20: Diagrama de flujo Salida AC .....	54
Figura 21: Diagrama de Flujo LED .....	55
Figura 22: Diagrama de flujo: Medición de corrientes.....	57
Figura 23: Diagrama de flujo control salida AC.....	58
Figura 24: Circuito impreso tras fabricación .....	62
Figura 25: Circuito impreso tras modificaciones.....	62
Figura 26: Montaje prueba de medición de corriente .....	63
Figura 27: Montaje de medida de tensión de baterías .....	65
Figura 28: Montaje prueba salida AC.....	67
Figura 29: Banco de pruebas medida de corriente .....	70





Figura 30: Carga programable consumiendo 0 A.....	72
Figura 31: Lectura del ordenador cuando se consume 1 A.....	73
Figura 32: Carga programable consumiendo 1.5 A.....	73
Figura 33: Lectura del ordenador cuando se consume 1.5 A.....	73
Figura 34: Carga programable consumiendo 3 A.....	74
Figura 35: Lectura del ordenador cuando se consume 3 A.....	74
Figura 36: Banco de pruebas medida de tensión de baterías.....	75
Figura 37: Captura osciloscopio estado batería CARGADA 1.....	80
Figura 38: Captura ordenador estado batería CARGADA 1.....	80
Figura 39: Captura de osciloscopio estado de batería CARGADA 2.....	81
Figura 40: Captura ordenador estado batería CARGADA 2.....	81
Figura 41: Captura de osciloscopio estado de batería DESCARGADA.....	82
Figura 42: Captura ordenador estado batería DESCARGADA.....	82
Figura 43: Captura de osciloscopio estado de batería DESCARGADA 2.....	83
Figura 44: Captura ordenador estado batería DESCARGADA 2.....	83
Figura 45: Captura de osciloscopio estado de batería CARGADA 3.....	84
Figura 46: Captura ordenador estado batería CARGADA 3.....	84
Figura 47: Captura de osciloscopio estado de batería SOBRECARGADA 1.....	85
Figura 48: Captura ordenador estado batería SOBRECARGADA 1.....	85
Figura 49: Captura de osciloscopio estado de batería SOBRECARGADA 2.....	86
Figura 50: Captura ordenador estado batería SOBRECARGADA 2.....	86
Figura 51: Captura de osciloscopio estado de batería CARGADA 4.....	87
Figura 52: Captura ordenador estado batería CARGADA 4.....	87
Figura 53: Banco de pruebas salida AC.....	88
Figura 54: Captura de osciloscopio salida AC 1.....	90
Figura 55: Captura polímetro salida AC.....	90
Figura 56: Captura de osciloscopio salida AC 2.....	91
Figura 57: Captura de osciloscopio salida AC 3.....	91
Figura 58: Salida AC conectada al enchufe del flexo.....	92
Figura 59: Flexo luciendo.....	93
Figura 60: Captura de osciloscopio tensión de salida AC.....	94





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas e inconvenientes instalaciones fotovoltaicas. ....	4
Tabla 2: Características panel solar. ....	12
Tabla 3: Requisitos medida de corriente de paneles solares. ....	13
Tabla 4: Requisitos bloque baterías. ....	13
Tabla 5: Requisitos medida corriente baterías. ....	13
Tabla 6: Requisito de medida de tensión de las baterías. ....	14
Tabla 7: Requisitos del bloque DC/AC. ....	14
Tabla 8: Requisitos conmutadores de los paneles solares. ....	15
Tabla 9: Requisitos de conmutadores de las baterías con bloque DC/AC. ....	15
Tabla 10: Requisitos display. ....	15
Tabla 11: Requisitos CPU. ....	16
Tabla 12: Tensiones de alimentación de los componentes. ....	21
Tabla 13: Corriente necesaria en dispositivos a 5V. ....	21
Tabla 14: Nivel de baterías. Control de estado. ....	53
Tabla 15: Resultados medición de corriente. ....	72
Tabla 16: Resultados medida de tensión de baterías. ....	79
Tabla 17: Resultados salida AC. ....	89
Tabla 18: Índice de tareas. ....	97
Tabla 19: Costes de personal. ....	100
Tabla 20: Costes de materiales. ....	100
Tabla 21: Costes totales. ....	101



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

---

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

El objeto de este apartado es presentar el marco en el que se engloba el proyecto y dar una visión global del mismo.

### 1.1. Resumen

El objeto de este proyecto es el diseño del sistema electrónico necesario para gestionar y optimizar la energía recolectada en paneles fotovoltaicos con una tensión en abierto de 60V además de su posterior conversión de tensión DC a tensión AC. De la siguiente imagen, forman parte de este proyecto los elementos de electrónica de control y gestión y el bloque DC/AC.

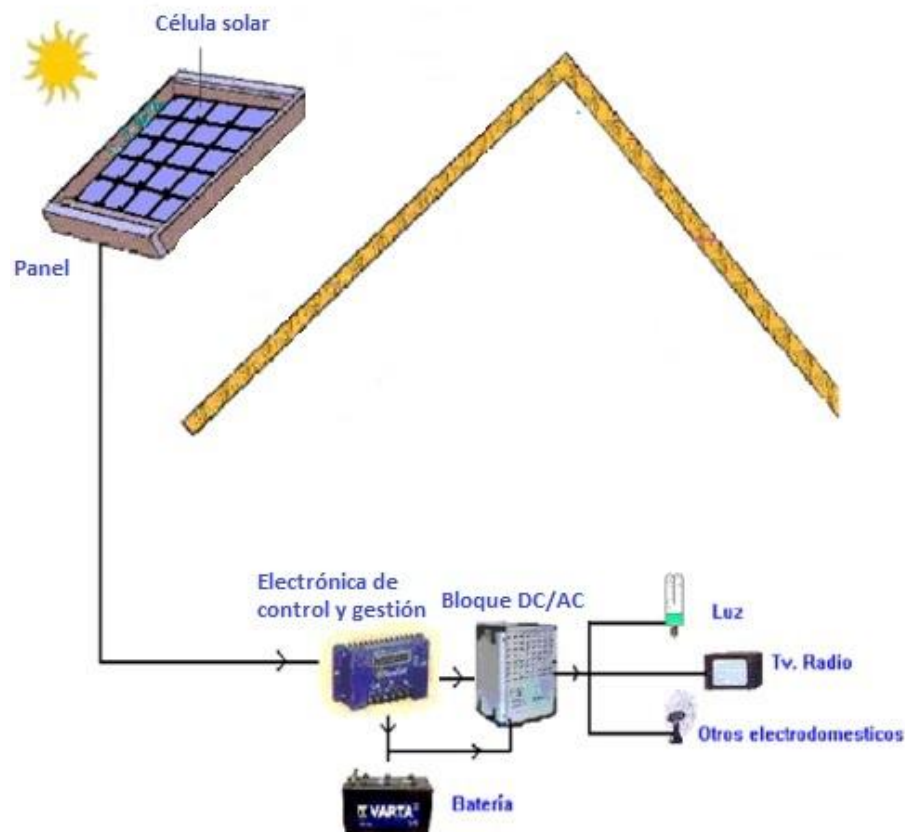


Figura 1: Esquema general de la instalación

Además de realizar el diseño del sistema, hardware y software, se realizará un prototipo sobre el que se harán las pruebas necesarias para la validación del sistema. También se incluirá la planificación del proyecto como los datos económicos necesarios. El prototipo construido se muestra en la siguiente imagen.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

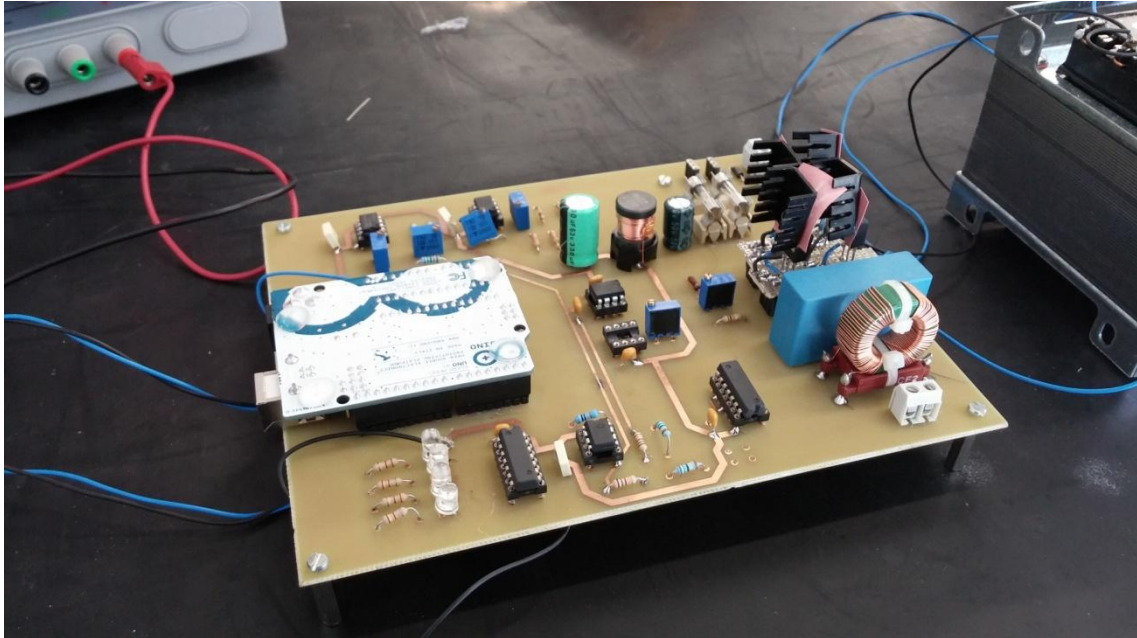


Figura 2: Prototipo fabricado

### 1.2. Problema a resolver

El problema que se quiere resolver con este diseño es al de la gestión de la energía recolectada por paneles solares fotovoltaicos de alta tensión. Con este fin se debe diseñar un sistema capaz de almacenar la energía recolectada en los paneles para su posterior distribución o uso local.

### 1.3. Energía solar fotovoltaica

La energía solar es una energía renovable, perteneciente al llamado grupo de las energías no contaminantes. Esta energía capta el calor y la luz emitidos por el sol en forma de radiación. La potencia que alcanza la tierra en forma de radiación está sujeta a numerosas variables tales como el lugar del planeta o las condiciones atmosféricas.

La energía aprovechar en el presente proyecto se trata de la recolectada por el efecto fotovoltaico. Mediante este proceso se convierte la luz solar en electricidad.

Los paneles solares están formados principalmente por materiales semiconductores. Estos materiales semiconductores tienen una baja concentración de electrones libres y para liberar un electrón necesitan de un aporte de energía. Para lograr este aporte de energía se utiliza la



energía de los fotones de la luz solar, cuando un fotón es absorbido en el panel solar la energía del este es transferida a un electrón que es capaz de liberarse y al ser atrapado en un campo eléctrico se genera una corriente eléctrica. De esta manera se transforma la energía de la radiación solar en energía eléctrica.

### 1.3.1. Ventajas e inconvenientes de las instalaciones fotovoltaicas:

Ventajas	Inconvenientes
No contaminante: Se trata de un tipo de energía que en su recolección no deja residuos.	Altos costes de producción: Los paneles solares son caros de producir.
No requiere mucho mantenimiento.	
Silenciosa: El proceso de recolección no produce ruidos.	Se trata de un tipo de energía que no es económicamente competitiva con otras a gran escala.
Fuente de energía inagotable	
Instalación simple: la instalación de los paneles es simple. Además, pueden ser instalados en casi cualquier lugar.	Se necesita de una amplia extensión de terreno en caso de querer competir a gran escala. El ratio de energía recolectada por metro cuadrado es bajo. Bajo rendimiento del terreno empleado.
Vida larga: Los dispositivos implicados en la energía solar fotovoltaica tienen una vida larga.	Producción variable según la climatología.

**Tabla 1: Ventajas e inconvenientes instalaciones fotovoltaicas.**

### 1.3.2. Tipos de paneles fotovoltaicos:

Los paneles fotovoltaicos, en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación empleados, se clasifican en:



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

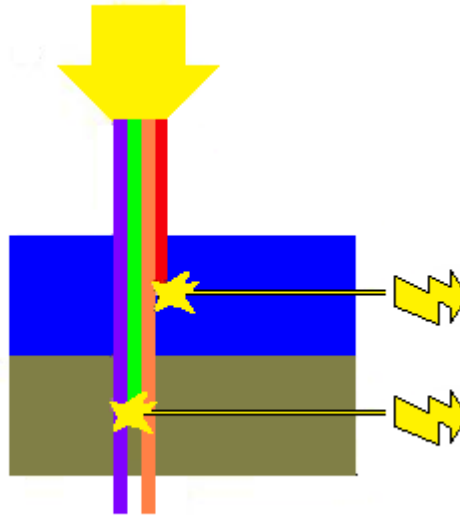
- Silicio puro monocristalino: Se basan en secciones de silicio perfectamente cristalizados de una sola pieza. Se trata de los paneles solares más eficientes y también los más caros de producir. Son rígidos y deben ser montados en una estructura rígida para su protección. Tiene un rendimiento comercial del 16%.
- Silicio puro policristalino: Se diferencian de los anteriores en el proceso de cristalización del silicio. Se tratan de secciones de una misma barra que se estructuran desordenadamente en pequeños cristales. Tienen un rendimiento peor al de los monocristalinos y su producción tiene un coste menor. También deben ser montados en un marco rígido. Tiene un rendimiento comercial del 14%.

Los paneles fabricados con silicio puro presentan una sección considerable, si empleamos silicio con otro tipo de materiales o estructuras podremos obtener paneles más finos. Se denominan paneles de lámina delgada:

- Células amorfas (TFS): Para producirlas se coloca una fina capa de amorfo de silicio sobre una gran variedad de superficies. Son los más baratos de producir pero también son los menos eficientes. Este tipo de paneles pueden ser flexibles (dependiendo del material sobre el que se monte). En este tipo de paneles la potencia se reduce con el tiempo al principio, posteriormente ésta se estabiliza. Tiene un rendimiento comercial del 8%.
- Arseniuro de Galio: De los materiales más eficientes, también de mayor coste. El arseniuro de galio absorbe la luz de manera más eficiente que el silicio. Además en este tipo de paneles se colocan 3 capas cada una de ellas modificada para que entre las tres sean capaces de captar una gama más alta del espectro de la luz solar. Los costes de fabricación de este tipo de paneles son similares a los de los paneles de silicio monocristalinos convencionales. Rendimientos comerciales de hasta el 20%.
- Teluro de cadmio y Diseleniuro de cobre en indio: Rendimientos comerciales del 8% y 9%.

Además existen también paneles Tándem que combinan semiconductores distintos. Este tipo de paneles logran una mayor eficiencia ya que consigues aprovechar una mayor gama del espectro solar al poder aprovechar cada tipo de semiconductor una parte del espectro diferente. El funcionamiento se ilustra en la siguiente imagen:





**Figura 3: Funcionamiento de paneles fotovoltaicos tándem**

Además, merece la pena mencionar el uso de los CIGS (cobre indio galio diselenido) actualmente en desarrollo y que se cree que en un futuro se podrían obtener rendimientos competitivos. Es de remarcar que la ventaja de esta tecnología no se encuentra en el rendimiento que se puede obtener de ella, si no en su bajo coste de producción.

En la actualidad la gran mayoría de paneles solares comercializados están basados en los cristales de silicio. El resto de paneles son utilizados en aplicaciones muy específicas y son difíciles de encontrar.

## **1.4. Estudio del arte**

En la actualidad la gran mayoría de kits para paneles solares están dimensionados para paneles policristalinos, que tienen una tensión de salida mucho más baja que las de los paneles monocristalinos.

Se ha encontrado la necesidad del mercado de kits de adaptación para paneles monocristalinos. La razón de esta necesidad se cree en que la primera tecnología de paneles fue la monocristalina y, por tanto, los sistemas de paneles fotovoltaicos más antiguos cuentan con este tipo de paneles. En nuestro país se pueden encontrar en gran cantidad en el sur,



sobre todo en las zonas de Murcia y Almería. Además este tipo de paneles cuentan con la ventaja de que al tener una tensión muy alta, y la corriente ser menor para la misma potencia, tiene menos pérdidas por disipación de calor.

Por lo que planteamos el desarrollo de un kit de adaptación para paneles monocristalinos.



# CAPÍTULO 2

## DISEÑO DEL SISTEMA

---



El objeto de este apartado es dar una visión global de nuestro sistema a nivel de bloques. Así como, dentro de cada bloque explicar su función principal, los requisitos que ha de cumplir y el componente principal elegido para tal fin.

### 2.1. Diagrama de bloques

A continuación mostramos el diagrama de bloques del sistema. En este apartado se incluirá una breve explicación de cada bloque así como su interacción con el resto de bloques del sistema.

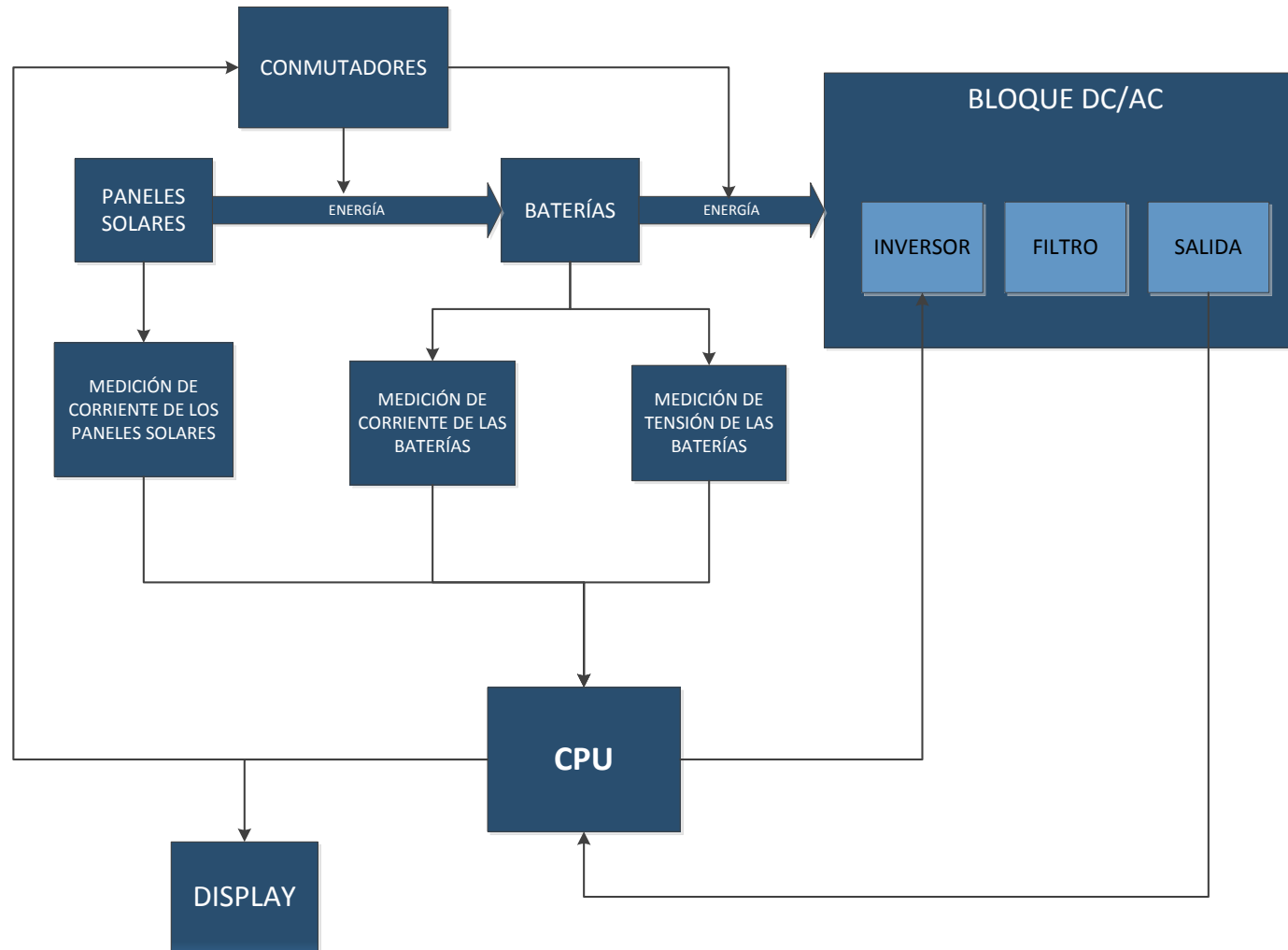


Figura 4: Diagrama de bloques del sistema completo



- Paneles solares: Se trata de la fuente de energía del sistema. Obtienen la energía de los rayos solares y con ella cargan las baterías del sistema.
- Medición de corriente de los paneles solares: La función del bloque es adaptar la medición de corriente de los paneles para que la CPU sea capaz de leerlo.
- Baterías: Se trata del dispositivo de almacenamiento de energía del sistema. La energía recolectada en los paneles solares se almacena en las baterías con el fin de que posteriormente sea convertida a AC en el bloque DC/AC.
- Medición de corriente de las baterías: Este bloque adapta la medición de corriente que suministran las baterías al sistema con el fin de que la CPU sea capaz de leerlo.
- Medición de tensión de las baterías: Este bloque adapta la tensión de las baterías para que la CPU sea capaz de leerla y así saber su estado para actuar sobre los conmutadores en caso de ser necesario.
- Bloque DC/AC: Este bloque transforma la energía DC en AC, con el fin de inyectarla a la red eléctrica.
- Conmutadores: La función de los conmutadores es conectar o desconectar los principales elementos del sistema (paneles solares, baterías y bloque DC/AC) con el fin de lograr el correcto funcionamiento del sistema.
- Display: Su función es mostrar al usuario el estado de funcionamiento del sistema.
- CPU: Este bloque se encarga de gestionar los recursos del sistema.



## 2.2. Requisitos del sistema

A la hora de definir los requisitos del sistema hemos de tener en cuenta que hay ciertos elementos presentados en el diagrama de bloques que tendremos que tomar como punto de partida para especificar el resto de componentes.

En este caso el principal elemento que tomamos como punto de partida son los paneles solares. En este caso hemos escogido unos paneles solares de SUN-EARTH de referencia TDB 125X125-96-P 260W cuyas características más influyentes en nuestro diseño se exponen en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS <u>TDB 125X125-96-P 260W</u>	
MAXIMUM POWER VOLTAGE (VMP)	49 V
MAXIMUM POWER CURRENT (IMP)	5.31 A
OPEN CIRCUIT VOLTAGE (VOC)	60.2 V
SHORT CIRCUIT CURRENT	5.48 A

Tabla 2: Características panel solar.

A partir de las características arriba indicadas podemos especificar los requisitos del resto de bloques.

### 2.2.1. Requisitos de medida de corriente de los paneles solares

- Este bloque ha de ser capaz de medir las corrientes suministradas por los paneles solares en funcionamiento.
- No es necesaria una gran resolución en la medida con 0.1 A de resolución sería suficiente.
- El refresco de esta medida deberá ser, por lo menos, de 1ms.

REQUISITOS MEDIDA DE CORRIENTE DE PANELES SOLARES.	
RANGO DE MEDIDA	0 - 5.31 A
RESOLUCIÓN DE LA MEDIDA	< 0.1 A
FRECUENCIA MÍNIMA DE MUESTREO	1KHz

**Tabla 3: Requisitos medida de corriente de paneles solares.****2.2.2. Requisitos del bloque Baterías**

- El bloque de baterías debe adecuarse a la tensión de salida de los paneles solares.
- Para este diseño es indiferente la capacidad de dichas baterías puesto que no se trata de un elemento dentro de nuestro sistema.

REQUISITOS BLOQUE BATERÍAS.	
TENSIÓN ADMISIBLE	60 V

**Tabla 4: Requisitos bloque baterías.****2.2.3. Requisitos medida de corriente de las baterías**

- Este bloque ha de ser capaz de medir la corriente de salida de las baterías. Puesto que la corriente de salida de baterías es una magnitud bastante amplia, debemos tener en cuenta los posibles y que las baterías tienen un límite de corriente máximo bastante alto. Para especificar este requisito recurrimos a la corriente máxima de salida del módulo DC/AC. Hemos de medir una corriente máxima de 4 A.
- Resolución de la medida de 0.1 A.
- El refresco de esta medida deberá ser, por lo menos, de 1 ms.

REQUISITOS MEDIDA DE CORRIENTE DE BATERÍAS.	
RANGO DE MEDIDA	0 – 25 A
RESOLUCIÓN DE LA MEDIDA	< 0.1 A
FRECUENCIA MÍNIMA DE MUESTREO	1KHz

**Tabla 5: Requisitos medida corriente baterías.****2.2.4. Requisitos medida tensión de las baterías**

- Para la medida de baterías será necesario medirla entre 44.8 V y 55.2 V. Para el planteamiento de este requisito asumimos que el bloque baterías está compuesto por 4 baterías de 12 V en serie. Y asumimos también, que una batería se encuentra





completamente cargada cuando su tensión es de 13.8 V y que está descargada cuando su tensión es de 11.2 V.

- En esta medida será necesaria una resolución mínima de 0.1 V.
- El refresco de la medida deberá ser, por lo menos de 1 ms.

REQUISITOS MEDIDA DE TENSIÓN DE LAS BATERÍAS.	
RANGO DE MEDIDA	44.8 V – 55.2 V
RESOLUCIÓN DE LA MEDIDA	< 0.1 V
FRECUENCIA MÍNIMA DE MUESTREO	1KHz

Tabla 6: Requisito de medida de tensión de las baterías.

#### 2.2.5. Bloque DC/AC

- El bloque debe soportar una tensión de entrada con un rango entre 44.8 V y 55.2 V y un máximo de 4 A.
- La salida debe ser una salida en alterna de 220 V y 50 Hz.

REQUISITOS BLOQUE DC/AC	
RANGO DE TENSIÓN DE ENTRADA	44.8 V – 55.2 V
CORRIENTE MÁXIMA DE ENTRADA	4 A
TENSIÓN DE SALIDA	220 Vac
FRECUENCIA DE TENSIÓN DE SALIDA	50 Hz

Tabla 7: Requisitos del bloque DC/AC

#### 2.2.6. Bloque de conmutadores:

Son necesarios 2 tipos de conmutadores:

##### 2.2.6.1. Conmutadores de los paneles solares

- La función de estos conmutadores será conectar las baterías con los paneles solares y desconectarlos en caso de que sea necesario. Para ello deben aguantar la corriente de dicha línea.

**REQUISITOS CONMUTADORES DE LOS PANELES SOLARES.**

<b>CORRIENTE SOPORTADA</b>	<b>&gt;5.31 A</b>
----------------------------	-------------------

Tabla 8: Requisitos conmutadores de los paneles solares.

**2.2.6.2. Conmutadores de baterías con bloque DC/AC**

- Estos conmutadores deben ser capaces de soportar la corriente que salga de las baterías, así como de cortar la conexión en caso de ser necesario. Deberán soportar la corriente y la tensión máximas de las baterías.

**REQUISITOS CONMUTADORES DE LAS BATERÍAS CON BLOQUE DC/AC.**

<b>CORRIENTE SOPORTADA</b>	<b>&gt;20 A</b>
<b>TENSIÓN MÁXIMA</b>	<b>&gt;60 V</b>

Tabla 9: Requisitos de conmutadores de las baterías con bloque DC/AC

**2.2.7. Indicadores LED**

- Será necesario mostrar si la salida está habilitada o no.
- Será necesario mostrar de manera cualitativa el estado de las baterías.
- Será necesario mostrar de manera cualitativa el aporte de corriente de los paneles a las baterías.
- Será necesario mostrar de manera cualitativa el consumo de corriente de las baterías.

**REQUISITOS DISPLAY.**

<b>SALIDA HABILITADA</b>	Cualitativa
<b>ESTADO DE BATERÍAS</b>	Cualitativa
<b>CORRIENTE DE LOS PANELES SOLARES</b>	Cualitativa

Tabla 10: Requisitos display.



### 2.2.8. CPU

Para evaluar los requisitos de la CPU debemos diseñar, o por lo menos pensar en cómo vamos a diseñar el resto de bloques. Este diseño se detalla más adelante. A continuación, se muestra un pequeño resumen con el fin de justificar los requisitos a especificar.

Serán necesarias entradas analógicas para las siguientes medidas: Nivel de baterías, corriente de las baterías hacia el convertidor DC/AC, corriente de los paneles solares hacia las baterías y tensión de salida del convertidor DC/AC.

Serán necesarias salidas digitales para los siguientes sistemas: Interruptor de corte de conexión entre las baterías y los paneles, dos salidas para el circuito de control del convertidor DC/AC y 4 salidas para el circuito de alarmas.

Luego los requisitos son los siguientes:

- La CPU deberá disponer de por lo menos 4 entradas analógicas con ADC.
- La CPU deberá disponer de por lo menos 7 salidas digitales.
- La CPU deberá tener una frecuencia de reloj significativamente superior a 10 KHz.

Frecuencia pensada para el ciclo de operación de la CPU.

REQUISITOS CPU.	
NÚMERO DE ENTRADAS ANALÓGICAS	$\geq 4$
NÚMERO DE SALIDAS DIGITALES	$\geq 7$
FRECUENCIA DE RELOJ	$> 5\text{MHz}$

Tabla 11: Requisitos CPU



## **2.3. Elección de componentes**

El objeto de este punto es presentar los componentes principales de cada uno de los bloques del epígrafe anterior y la justificación de esta elección de acuerdo a los requisitos ya especificados.

No se presentará el diseño completo en este apartado, únicamente se justificarán las características requeridas para cada componente y su bloque. El diseño completo y los cálculos requeridos se presentarán en el apartado de Diseño de Hardware.

También se justificará la elección de determinados componentes que, aún no perteneciendo a ninguno de los bloques anteriormente mencionados. Son necesarios en nuestro sistema para dar soporte al resto.

### **2.3.1. AD620**

El AD620 se trata de un amplificador de instrumentación. De fácil configuración de la ganancia y modo de entrada diferencial. En lo que a tratamiento de señal se refiere proporciona una solución fácil para ajustes de ganancia y offset. Proporcionando además una gran linealidad en la medida y buenas características en función de la temperatura.

Además se trata de un componente muy adaptable puesto que sus alimentaciones varían en un amplio rango pudiéndose alimentar tanto en modo dúplex como en modo simple y admitiendo tensiones de alimentación con un alto rango.

Se ha utilizado este componente para los siguientes bloques:

- Medida de corriente de los paneles solares.
- Medida de tensión de las baterías.
- Medida de corriente de las baterías.
- Bloque DC/AC.

Se adjunta la hoja de datos del componente en el anexo correspondiente. Se podrán comprobar las características mencionadas a continuación en dicha hoja.



De acuerdo a los requisitos especificados en el apartado correspondiente el componente únicamente puede responder a la frecuencia de muestreo puesto que el resto deberá ser comprobado con el diseño del sistema completo.

Atendiendo a la frecuencia de muestreo del componente, éste tiene una respuesta dinámica en el peor de los casos (ganancia de 1000) de 12KHz, superando el requisito impuesto de 1KHz para cada uno de los bloques anteriormente mencionados.

### 2.3.2. IRF530

El IRF530N se trata de un transistor de potencia de tecnología MOSFET, en este caso hemos escogido el de canal N. Con buena respuesta dinámica. El encapsulado elegido es el TO-220. Este encapsulado es recomendable en caso de necesidad de disipación térmica. En nuestro caso, debido a las elevadas corrientes que pueden pasar por los transistores, será importante la disipación térmica para no perder energía en estos componentes. Por la razón anteriormente mencionada se le podrá acoplar al transistor un disipador que ayudará a disipar esta energía en forma de calor.

Este componente será utilizado en los siguientes bloques:

- Bloque conmutadores: Conmutadores de baterías con bloque DC/AC.
- Bloque DC/AC.

Se adjunta la hoja de datos del componente en el anexo correspondiente. Se podrán comprobar las características mencionadas a continuación en dicha hoja.

En este caso, y debido al diseño que se expondrá en apartados posteriores, los componentes IRF530N que se indican para el Bloque conmutadores: Conmutadores de baterías con bloque DC/AC y los que se indican para el Bloque DC/AC son los mismos. Los requisitos para estos conmutadores son los siguientes:

- Se deberán soportar más de 4 A: en el peor de los casos un IRF530N tiene una corriente máxima de 10A. Se sobredimensiona el sistema poniendo dos IRF530 en paralelo por cuestiones de temperatura (al aumentar la temperatura baja la corriente que pueden soportar los IRF530) y por disipación de calor.

- Tensión máxima de 60V: Los IRF530N tienen una tensión máxima  $V_{DS}$  de 100V. Con lo que el requisito quedaría cumplido.

Por lo expuesto arriba, con un montaje con dos IRF530N en paralelo seríamos capaces de cumplir los requisitos exigidos para estos dos bloques. Además, para mejorar la disipación de calor, se opta por colocar disipadores en los transistores.

### **2.3.3. Relé G5LE-14 DC5 de OMRON**

En el caso de los componentes del Bloque de conmutadores: Conmutadores de los paneles solares los requisitos son:

- Soportar una corriente superior a 5.31 A: El valor de  $I$  es de 10A en el peor de los casos.

El relé indicado soporta hasta 10 A, por lo tanto, cumple el requisito de corriente. Además se ha elegido un relé de la forma C (contactos SPDT). Esta configuración de contactos se trata de un conmutador de 1 línea a otras 2. Una normalmente abierta y otra normalmente cerrada. En nuestro caso usaremos la normalmente cerrada, de esta manera, si nuestro sistema pasa a apagarse por tener batería demasiado baja las baterías podrán cargarse a través de los paneles. El esquema de la configuración SPDT es el siguiente.



**Figura 5: Configuración SPDT**

### **2.3.4. Transformador 68-4 de Signal transformer**

Para el bloque DC/AC, es necesario un transformador con dos bobinados secundarios y un bobinado primario. En este caso tenemos 2 y 2, conectaremos el primario (230Vac, 2z115Vac) en serie. Y utilizaremos el secundario como un doble bobinado. Cada uno de los bobinados secundarios está especificado para 33Vac. Esta tensión es tensión eficaz si lo pasamos a



tensión de pico obtenemos: 46.66V de pico. La frecuencia especificada para el transformador es de 50-60 Hz.

El bloque al que pertenece este componente es el Bloque DC/AC.

Se adjunta la hoja de datos del componente en el anexo correspondiente. Se podrán comprobar las características mencionadas a continuación en dicha hoja.

Los requisitos que debe cumplir dicho componente dentro del bloque son los de:

- Entrada de tensión nominal: Especificado para 33 V. El requisito son entre 44.8 V y 55.2 V de pico. Si pasamos esos 33Vac a tensión de pico obtenemos 46.66V. Se da por válido el transformador para este requisito.
- Corriente máxima de entrada: Tiene 4A de intensidad nominal.
- Salida de 220Vac: Tiene una salida de 220Vac
- Frecuencia de 50 Hz: El transformador tiene una frecuencia nominal de 50-60Hz.

Por lo expuesto arriba el transformador cumple los requisitos requeridos para el bloquen DC/AC.

### 2.3.5. CPU

La solución encontrada para la CPU es la placa de desarrollo Arduino UNO de arduino. Se opta por esta solución debido a la sencillez de la misma cumpliendo los requisitos indicados. La placa de desarrollo intetgra un microprocesador ATMega328.

Se adjunta la hoja de datos del componente (ATMega 328) y el esquemático de la placa de desarrollo Arduino UNO en el anexo correspondiente. Se podrán comprobar las características mencionadas a continuación en dicha hoja.

El componente conforma el bloque CPU y debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Número de entradas analógicas mayor que 4: En nuestro caso la placa de desarrollo cuenta con 6 entradas analógicas.
- Número de salidas digitales mayor que 7: En nuestro caso la placa de desarrollo cuenta con un total de 12 salidas digitales.
- Frecuencia de reloj mayor que 5MHz: El reloj de la placa va a 16MHz.



Por lo expuesto arriba, la solución escogida cumple con todos los requisitos para el bloque CPU.

### **2.3.6. TL2575HV-ADJ (Circuito de alimentación del resto de dispositivos)**

Con el resto de componentes ya escogidos es necesario diseñar un sistema de alimentación para todos ellos. Las tensiones de alimentación de los componentes que la necesitan son las siguientes:

<b>TENSIONES DE ALIMENTACIÓN DE LOS COMPONENTES.</b>	
<b>AD620</b>	$\pm 2.3$ - $\pm 18$ V en dúplex, 4.6-36 V simple
<b>Arduino UNO</b>	7-12V sin regular, 5V regulados

**Tabla 12: Tensiones de alimentación de los componentes.**

Atendiendo a las tensiones de los componentes a alimentar se elige una tensión de 5V como fuente de alimentación del resto de componentes. En el caso de la placa de desarrollo Arduino UNO se elige la tensión regulada de 5V, la misma que para los AD620. El dispositivo TL2575HV-ADJ en una de sus configuraciones es capaz de dar 5V.

Sabiendo la tensión de salida necesitamos saber cuánta corriente necesitamos suministrar a dichos dispositivos.

<b>CORRIENTE NECESARIA EN DISPOSITIVOS A 5V</b>	
<b>AD620</b>	1.3 mA
<b>Arduino UNO</b>	1 A <sup>(1)</sup>
<b>TOTAL</b>	1.0052 A

**Tabla 13: Corriente necesaria en dispositivos a 5V.**

- (1) El dato de consumo de corriente de la placa de desarrollo de Arduino UNO no está disponible. Este dato se ha sacado de la potencia que puede dar el regulador integrado en la placa (NCP1117ST50T3G), que puede dar hasta 1A. Con este dato estimamos el consumo de la placa Arduino UNO. Esta estimación es válida, sin embargo hemos de tener en cuenta que probablemente el regulador esté sobredimensionado y que esta corriente sea para el máximo de corriente con todos los componentes de la placa





funcionando. En nuestro caso, además, no todos los componentes de la placa funcionan, y en el caso de que se encuentren operativos no lo hacen en su modo de máximo consumo. Por ejemplo, hay salidas de 3.3V que no usamos y por tanto no consumen. Así como salidas y entradas del microprocesador. Con lo que concluimos que este dato de 1 A está muy sobredimensionado.

Se adjunta la hoja de datos del componente en el anexo correspondiente. Se podrán comprobar las características mencionadas a continuación en dicha hoja.

Atendiendo a lo expuesto arriba, concluimos que una corriente de salida de 1A será suficiente para alimentar los dispositivos a 5V. La corriente máxima de salida del TL2575HV-ADJ es de 1A, luego cumple con lo requerido.

Además, hemos de tener en cuenta que barajamos tensiones de entradas al convertidor de hasta 55.2 V (máxima tensión de las baterías). El TL2575HV tiene un rango de tensiones de entrada de 4.5V a 60V.

Por lo expuesto anteriormente, el TL2575HV-ADJ cumple los requisitos para alimentar los dispositivos necesarios dentro de nuestra placa.

### 2.3.7. REF03 (Referencia de tensión de 2.5V)

Para determinadas medidas dentro de la placa es necesaria una referencia de tensión de 2.5V de precisión. Hemos escogido la referencia REF03.

Esta necesidad surge dado que a diferentes temperaturas el TL2575 puede no tener una tensión de salida precisa. Además la tensión de salida puede verse afectada también por la tensión de entrada, que en nuestro sistema tiene un gran rango. Esto no afectará significativamente a nuestra tensión, sin embargo, no nos permitirá tener una referencia de tensión precisa en el TL2575.

Este dispositivo tiene una variación de la tensión de salida entre 2.485 y 2.515 V. Lo que nos proporciona la precisión necesaria en nuestra referencia. Además, se puede alimentar a 5V, luego es fácilmente adaptable a nuestro sistema. Además el consumo es de 1mA, luego no afectará significativamente a nuestro sistema en este aspecto.



# CAPÍTULO 3

## DISEÑO DE HARDWARE

---



El objeto de este apartado es ilustrar de la manera más clara posible el diseño de Hardware realizado. Se hará una presentación general del esquema completo y posteriormente se analizará cada bloque de manera específica por separado.

Se justificarán los diseños realizados a nivel hardware y los requisitos que en este apartado se requieran.

### 3.1. Esquema general de Hardware

El Hardware está estructurado como se indica en el esquema siguiente:

A continuación mostramos el esquema completo de la PCB:

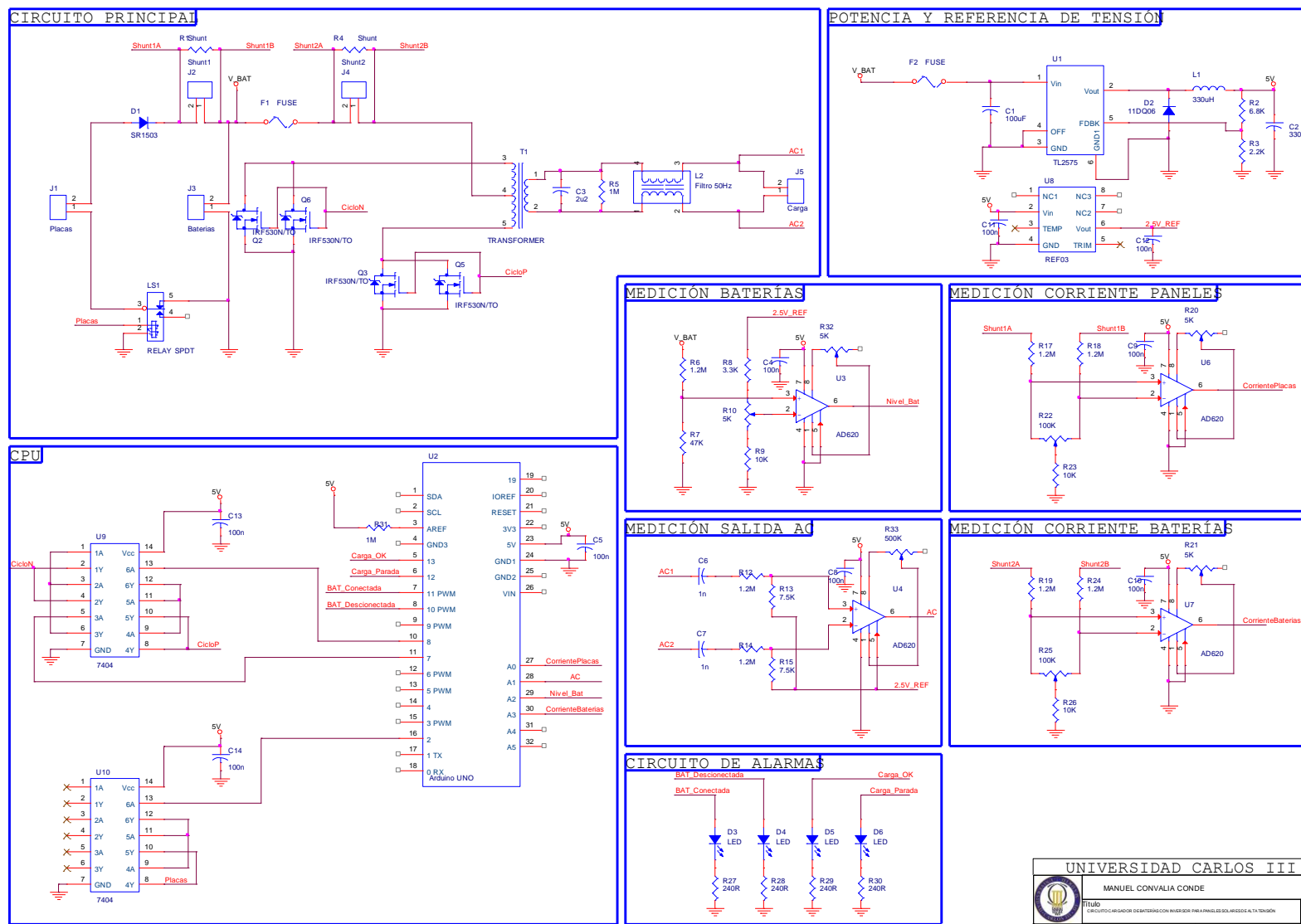


Figura 6: Esquemático general.



### 3.2. Justificación de diseño por bloques

En este apartado procederemos a analizar el diseño de cada uno de los bloques presentes dentro de la PCB, con el fin de justificarlo y explicar el procedimiento llevado a cabo para dicho diseño.

Se justificarán los diseños y componentes que no se justificaron en el apartado de elección de componentes del epígrafe anterior.

#### 3.2.1. Justificación circuito principal

Se presenta más abajo el esquema de este bloque completo más abajo.

En este bloque se presenta el núcleo del esquema, en él está incluido el sistema a controlar. A grandes rasgos, podemos dividirlo en tres bloques:

##### 3.2.1.1. Bloque 1

El primer bloque constaría de las placas solares (conector de las placas solares), las baterías (conector de las baterías) y los elementos entre estos. Hay un diodo para permitir únicamente la circulación de corriente en un sentido, un conmutador que conectar y desconecta los paneles y las baterías y un shunt para medir la corriente que circula entre las baterías y los paneles solares.

La elección de los conmutadores está ya justificada, a continuación justificamos la elección del diodo.

- D1: MBR760-E3/45

Con el fin de que las baterías no se descarguen a través de los paneles solares cuando estos no están generando corriente colocamos este diodo, que sólo permite el paso de la corriente en un sentido.

Este diodo deberá ser capaz de soportar la corriente generada por los paneles solares (5.31 A) y la tensión a la que será expuesto. Así como la tensión que ha de bloquear, la tensión máxima que pueden proporcionar los paneles, 60 V.

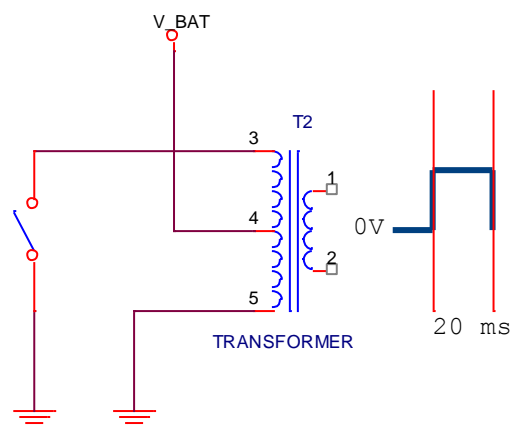
Se adjunta la hoja de datos del componente en el anexo correspondiente. Se podrán comprobar las características mencionadas a continuación en dicha hoja.

El MBR760-E3/45 soporta una corriente media rectificada de 7.5 A y una tensión de 60V, luego es capaz de soportar la corriente y la tensión que generan las placas.

### 3.2.1.2. Bloque 2

El segundo bloque estaría formado por el lado de baja tensión del transformador, dos conmutadores, un fusible y un shunt.

Los dos conmutadores son controlados por la CPU de manera que inyectan en el transformador en ciclos de 20 ms (50 Hz) alternos. De manera que en el lado de alta del transformador se inyecta una onda cuadrada con una frecuencia fundamental de 50 Hz. En las siguientes dos figuras se ilustra lo antes explicado.



**Figura 7: Ciclo positivo transformador.**

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

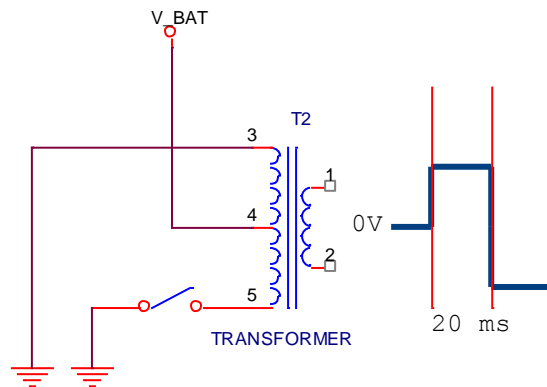


Figura 8: Ciclo negativo transformador.

Con el shunt medimos la corriente que se inyecta en el lado de baja del transformador.

- F1: Fusible 3A

El fusible se implementa a modo de protección del circuito del transformador y de lo llamado en este apartado bloque 3. Se trata de un fusible de 3A. Corriente un poco superior a la corriente máxima del bloque. En este sentido no había ningún tipo de protección puesto que las baterías pueden dar corrientes bastante elevadas.

A nivel hardware esto está implementado con un portafusibles facilitando así la sustitución del fusible en caso de ser necesario.

### 3.2.1.3. Bloque 3

El tercer bloque consta del lado de alta tensión del transformador, componentes para conseguir filtrar y aumentar la calidad de la señal de salida.

Como ya hemos explicado en el bloque 2 por el lado de alta del transformador sale una señal cuadrada con una tensión de 220 Vac (debido a la relación de transformación del transformador de este) y una frecuencia de 50 Hz. Se debe filtrar el armónico principal de esa señal cuadrada para obtener una señal lo más parecido posible a una sinusoidal.

- Filtro 50Hz: CF2 de LCR components

Se adjunta la hoja de datos del componente en el anexo correspondiente. Se podrán comprobar las características mencionadas a continuación en dicha hoja.



Se trata de un filtro de 50 Hz con una tensión de entrada admisible de 250 Vac, nuestro sistema tiene una tensión en la salida de entre 220 Vac y 230 Vac.

- C3: Condensador de 2.2 uF

El condensador C3 forma parte de la etapa de filtrado de la tensión alterna. Se trata de un condensador cerámico que soporta la tensión de 220Vac.

- R5: Resistencia de 1MΩ

La principal función de la resistencia R5 es que aunque no haya nada conectado a la salida pueda circular corriente con el fin de que el magnetismo del transformador se mantenga.



### CIRCUITO PRINCIPAL

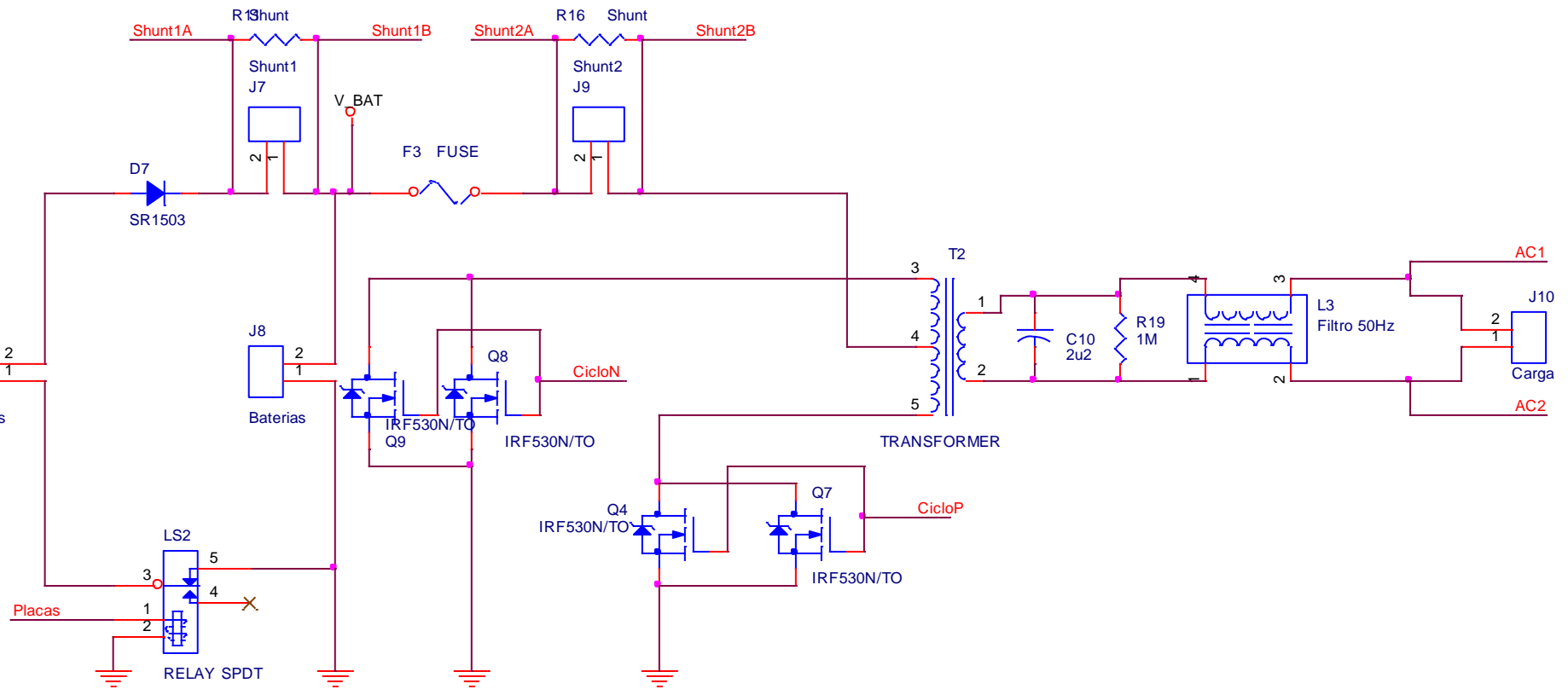


Figura 9: Esquemático circuito principal

### 3.2.2. Circuito de potencia y referencia de tensión:

La principal función de este bloque es adecuar la tensión de alimentación al resto de dispositivos de la placa y proporcionar una referencia de precisión para las medidas analógicas.

El esquemático es el siguiente:

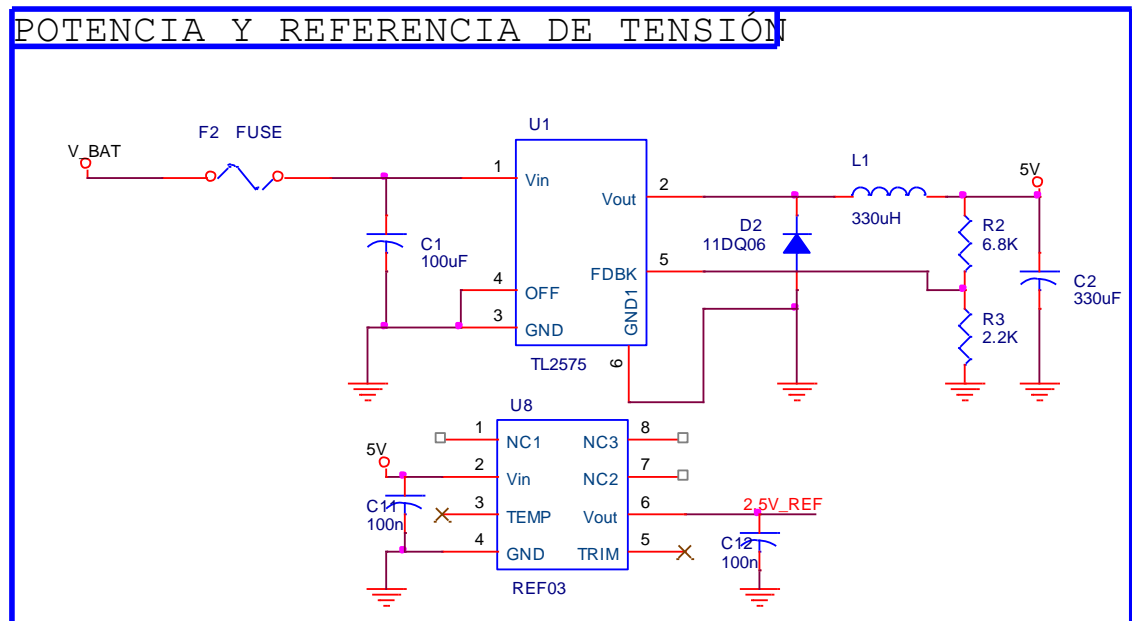


Figura 10: Esquemático de Potencia y referencia de tensión.

#### 3.2.2.1. Circuito de alimentación de 5V

El principal componente de esta parte del circuito es el TL2575HV-ADJ, del que ya justificamos su elección en la parte de elección de componentes.

Dentro de este circuito podemos diferenciar dos partes, una de protección y el circuito del convertidor propiamente dicho.

- F2: 100 mA

La parte de protección está formada por un fusible de 200 mA, esta corriente se ha calculado de la siguiente manera:

El convertidor tiene una potencia de salida de 5W (5V y 1A). Y una eficiencia del 77% (dato sacado de la página 6 de la datasheet del TL2575, que se encuentra en el anexo correspondiente). En nuestro caso, la tensión de entrada que provocará mayor corriente es la más baja, que será la mínima permitida por el sistema para las baterías, 44.8V. Si realizamos



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

un balance de potencias con los datos expuestos arriba, obtenemos la corriente que debería necesitar el TL2575 en el peor de los casos:

$$P_{entrada} = P_{salida} \rightarrow I_{entrada} \cdot 44.8V \cdot 0.77 = 1A \cdot 5V \rightarrow I_{entrada} = \frac{5W}{44.8 \cdot 0.77} = 0.086A$$

### Ecuación 1: Cálculo corriente fusible F2

El dato obtenido es de 86 mA. Aproximamos este dato al valor de fusible superior y más próximo, 100 mA.

#### - Circuito del TL2575

En este caso la mayoría de los componentes han sido elegidos siguiendo la recomendación del fabricante en su datasheet (página 10). De este esquema del fabricante se han sacado los componentes L1 (depende de la tensión de salida, pero como el ejemplo dado en el esquema son 5V, el valor es el mismo que se indica), C1 (tensión admisible del condensador de por lo menos 60V), C2 y D2 (hoja de datos adjunta en el anexo). Para el caso de la versión ajustable la tensión de salida se obtiene con las resistencias R1 y R2 del esquemático de la datasheet (R3 y R2 respectivamente en nuestro esquema).

La tensión de salida se calcula según la siguiente expresión:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) \text{ siendo } V_{REF} = 1.23V; R_2 = 6.8K\Omega; R_3 = 2.2K\Omega;$$

$$V_{OUT} = 1.23 \left( 1 + \frac{6.8}{2.2} \right) = 5.032V$$

### Ecuación 2: Cálculo de tensión de salida del TL2575

#### 3.2.2.2. Referencia de tensión

La elección del componente principal está justificada en el apartado de elección de componentes. Además se han colocado dos condensadores tanto a la salida como a la entrada con el fin de filtrar en la mayor medida posible el ruido que le pudiera entrar al componente y, así, obtener una referencia lo más estable posible.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

### 3.2.3. Circuito de medición de tensión de baterías

Esta parte del circuito tiene la función de medir la tensión de las baterías, debe adecuar la tensión de salida a la de entrada de las entradas analógicas del microprocesador (0-5V) y perder la mínima resolución posible.

El esquemático de esta parte es el siguiente:

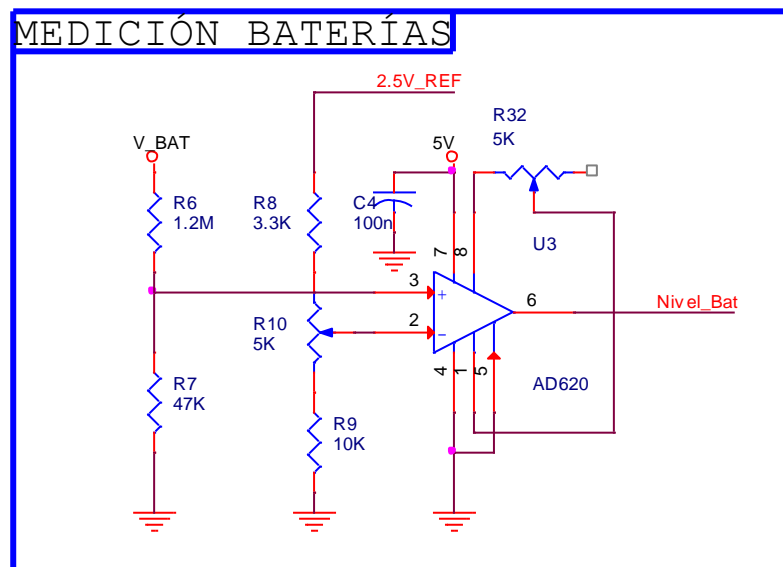


Figura 11: Esquemático de medición de las baterías.

El rango que debemos convertir es de 44.8V-55.2V. Para ello primero bajamos la tensión de entrada del amplificador para no tener problemas con el modo común. Y acondicionamos la tensión de referencia del modo diferencial de medida del amplificador a dicho valor. Luego antes de entrar en el amplificador en la pata + de dicho amplificador tenemos los siguientes valores:

Para el valor superior del rango de entrada:

$$V_{+sup} = \frac{R_7}{R_6 + R_7} V_{bat_{sup}} = \frac{47K}{1.2M + 47K} \cdot 55.2V = 2.0805V$$

Ecuación 3: Valor superior del rango de entrada en la pata

Para el valor inferior del rango de entrada:

$$V_{+inf} = \frac{R_7}{R_6 + R_7} V_{bat_{inf}} = \frac{47K}{1.2M + 47K} \cdot 44.8V = 1.6885V$$

**Ecuación 4: Valor inferior del rango de entrada en la pata –**

El valor en la pata – debe ser igual al valor mínimo en la pata + con el fin de que la tensión diferencial se adecúe al máximo a la salida. Con el fin de que esta referencia sea lo más fiable posible usamos la referencia de tensión más estable que tenemos, la de 2.5V del REF03. Para ajustar completamente estos valores usamos un potenciómetro. Comprobamos que entre los posibles valores de la pata – del AD620 se encuentra el valor que necesitamos (1.6885V). Para ello comprobamos los dos extremos del potenciómetro:

$$V_{-inf} = \frac{R_9}{R_9 + R_{10} + R_8} \cdot 2.5V = \frac{10k}{3.3k + 5k + 10k} \cdot 2.5V = 1.3661V$$

$$V_{-sup} = \frac{R_{10} + R_9}{R_9 + R_{10} + R_8} \cdot 2.5V = \frac{5k + 10k}{3.3k + 5k + 10k} \cdot 2.5V = 2.0492V$$

**Ecuación 5: Cálculo de rango de la pata – del AD620**

Como podemos observar, la tensión requerida se halla en el rango de posibles tensiones de la pata – del AD620.

El siguiente paso es calcular la ganancia necesaria en el AD620 para adecuarnos lo más posible al rango de tensión deseada (0-5V). Para ello usamos el rango de tensión de entrada que tenemos y calculamos la ganancia deseada.

$$G = \frac{5V}{(2.0805V - 1.6885V)} = 12.7551V/V$$

**Ecuación 6: Cálculo de la ganancia necesaria.**

La ganancia del amplificador AD620 se calcula con la resistencia  $R_g$ , R32 en nuestro caso, y según la datasheet tiene la siguiente expresión, con la que calculamos la  $R_g$  necesaria.

$$G = \left(1 + \frac{49.4k}{R_g}\right) \rightarrow R_g = \frac{49.4k}{G - 1} = \frac{49.4k}{12.7551 - 1} = 4.2024k$$

**Ecuación 7: Cálculo de la  $R_g$  necesaria.**

Como resistencia  $R_g$  se ha colocado un potenciómetro de 5K que puede tomar el valor antes indicado.



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

Sabiendo estos valores podemos comprobar si cumplimos el último requisito que quedaba por cumplir para este bloque, que era el de tener una resolución de 0.1V en la medida. Para ello calculamos la resolución que tenemos ahora. Teniendo en cuenta, que el rango de entrada del conversor es de 5V y que tiene una resolución de 10 bits tenemos que:

$$LSB = \frac{5}{2^{10}} = 4.8828 \cdot 10^{-3}V$$

**Ecuación 8: Cálculo del LSB.**

Comprobamos qué variación tendríamos en la salida con un cambio de 0.1V a la entrada y teniendo en cuenta que podremos ajustar la amplitud de la salida, elegimos el caso más desfavorable (una salida de 5V).

$$V_{salida\ 0.1V} = 0.1V \cdot \frac{5V}{55.2V - 44.8V} = 0.0481V$$

**Ecuación 9: Cálculo de la variación a la salida con 0.1 de variación a la entrada.**

Al ser el LSB menor que la variación producida a la salida por una variación de 0.1V en la entrada concluimos que tenemos una resolución mayor de 0.1V en la medida y, por tanto cumplimos el requisito de la resolución.

### 3.2.4. Medición corriente paneles y medición corriente baterías

La principal función del circuito es medir la corriente que entra en las baterías y la que sale. Con el objetivo principal de saber si las baterías se están cargando o descargando y en qué medida lo están haciendo.

La principal razón por la que se presentar estos bloques juntos es que a nivel de hardware son idénticos. Presentan un diseño muy adaptable. Esto es porque en la etapa de diseño no se definió desde el principio cómo se iba a medir la corriente, si bien mediante las resistencias R1 y R4, o poniendo un shunt en los conectores J2 y J4. Finalmente se optó por las resistencias R1 y R4, utilizando para ello resistencias especiales para dicho propósito.

En este apartado nos dispondremos a explicar las partes del circuito que tienen en común ambos módulos y posteriormente particularizaremos para cada caso. Los circuitos correspondientes los mostraremos en su particularización.

En ambos módulos nos encontramos con el inconveniente de que las tensiones de la línea en la que debemos realizar la medida diferencial son muy altas. Por ello, debemos reducir estas tensiones hasta un rango de entrada válido para nuestro circuito. Para ello implementamos un divisor resistivo con este fin. Así mismo y debido a que la diferencia de tensiones a medir es muy pequeña, y por tener las resistencias tolerancias en sus valores, es necesario realizar un ajuste con los potenciómetros R22 y R25. Con el fin de que al cortocircuitar las resistencias el valor de salida de nuestra etapa sea 0 (medimos a la salida porque al estar amplificada será más precisa).

Hemos de comprobar que sea cual sea el valor de tensión, dentro de los posibles, los valores sobre los que mide el AD620 estén dentro del rango de este (0-5V). Para ello comprobamos con las características más desfavorables, la mayor tensión y el 100% del potenciómetro y la menor tensión y el 0% del potenciómetro.

$$V_{menor} = \frac{10k}{1.2M + 10k} \cdot 44.8 = 0.37 V$$

$$V_{mayor} = \frac{10k + 100k}{1.2M + 10k + 100k} \cdot 55.2 = 4.63V$$

**Ecuación 10: Comprobación de los límites de entrada del AD620**

En ambos casos los resultados son aceptables.

### 3.2.4.1. Medición de corriente de los paneles solares

El esquemático del bloque es el siguiente:

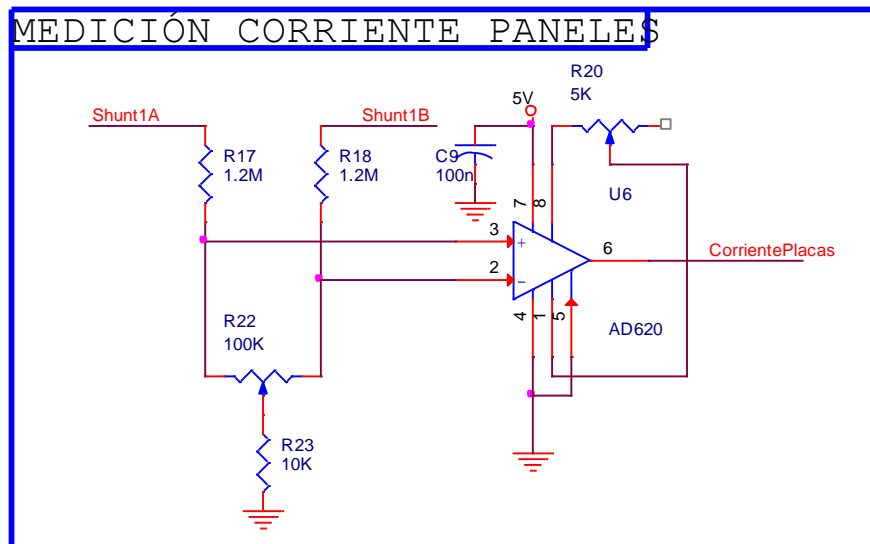


Figura 12: Esquemático medición de corriente de baterías.

Vamos a ver qué particularidades tenemos en este caso. La magnitud a medir va desde 0A a 5.31A. En este caso hemos escogido una resistencia para medir la corriente de 0.01Ω. Con lo que obtendremos una caída de tensión de entre 0V y 0.0531V. Si calibramos de la manera correcta con el potenciómetro R22, tendremos el mismo coeficiente de reducción de esta tensión en ambas líneas. Que podremos aproximar con la siguiente expresión:

$$V = \frac{50k + 10k}{1.2M + 50k + 10k} \cdot 0.0531V = 0.0025V$$

Ecuación 11: Cálculo de la tensión de entrada del AD620

Atendiendo a lo expuesto antes, necesitaremos una ganancia de 2000. Que corresponde con una Rg, muy pequeña, que podremos conseguir con el potenciómetro R20. Para comprobar que obtenemos la resolución que queremos aplicamos el mismo procedimiento que en anteriores apartados.

$$V_{salida\ 0.1A} = 0.1A \cdot \frac{5V}{5.31A} = 0.094V$$

Ecuación 12: Variación de la salida del AD620 con 0.1A de variación la entrada



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

Obteniendo un valor mayor que el LSB, con lo que cumplimos el requisito de resolución en la medida. Para este caso es posible que el AD620 no pueda alcanzar la ganancia requerida anteriormente, en tal caso se podrá baja dicho valor de dicha ganancia mientras se siga cumpliendo el requisito de resolución.

### 3.2.4.2. Medición de corriente de las baterías

El esquemático es el siguiente:

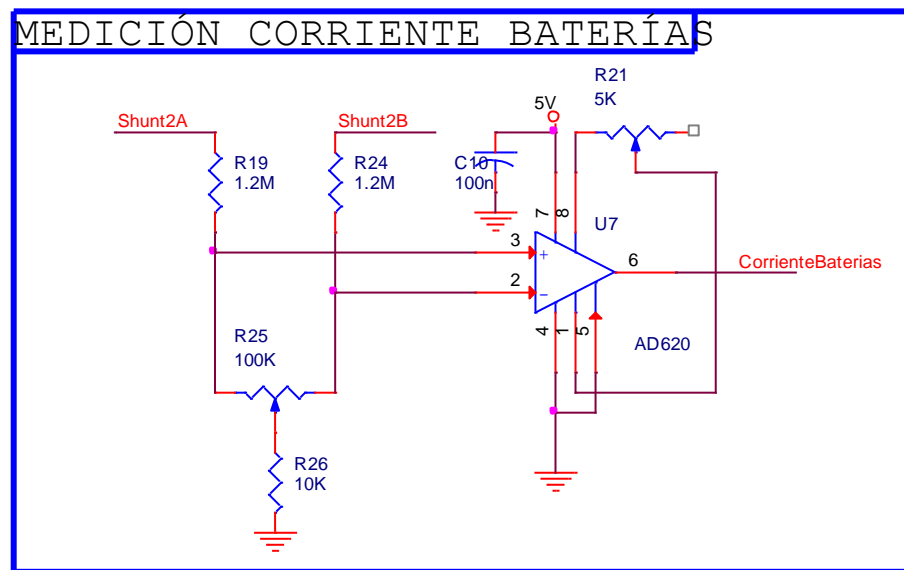


Figura 13: Esquemático medición de corriente de las baterías

Para este módulo vamos a proceder de manera análoga al anterior. La corriente que queremos medir está entre 0 y 4A. En este caso colocamos una resistencia de  $0.01\Omega$ . Operando como en el caso anterior obtenemos una tensión de entrada en el AD620 de 0.0019 V. Necesitando una ganancia de 2500, con una  $R_g$  pequeña, a la que podemos llegar con el potenciómetro R21.

Procedemos a comprobar la resolución como hemos hecho en el caso anterior, obteniendo una variación a la salida de 0.025V al variar 0.1A la magnitud a medir, valor mayor que el LSB, con lo que cumplimos el requisito de resolución. Para este caso es posible que el AD620 no pueda alcanzar la ganancia requerida anteriormente, en tal caso se podrá baja dicho valor de dicha ganancia mientras se siga cumpliendo el requisito de resolución.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

### 3.2.5. Medición salida AD

La principal función de este circuito es acondicionar la salida de tensión del módulo DC/AC a la entrada del microprocesador de manera que se pueda leer para controlar los valores y conseguir el valor de tensión deseado.

El esquemático de este bloque es el siguiente:€€€

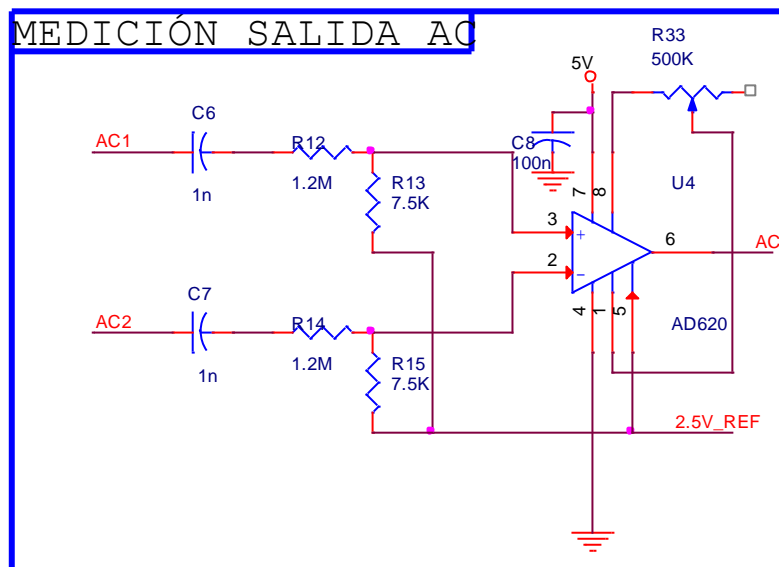


Figura 14: Esquemático de medición salida AC

Debemos pasar los 220 voltios eficaces (311V de pico) a un rango entre 0 y 5 V. La salida de este bloque está centrada en 2.5V, tensión de offset de la pata 5 del AD620, obtenidos de la referencia que da el REF03. De esta manera podremos medir tanto tensiones positivas como negativas entre 0 y 5V. Solucionado el problema del offset debemos reducir el pico de tensión a algo menor de 2.5V, para ello usamos el divisor resistivo formado por R12, R13, R14 y R15 (cada uno de ellos en una línea), obteniendo el siguiente valor para el pico:

$$V_{IN} = 220 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{7.5K}{1.2M + 7.5K} = 1.9324 V$$

Ecuación 13: Cálculo de la amplitud AC

Luego obtendremos unos valores en la entrada del AD de entre -1.9324 y 1.9324.

La resistencia Rg en este caso es de 1MΩ, luego podremos aproximar el valor de la ganancia a 1. Con lo que a la salida obtendríamos unos valores de entre 0.5676V y 4.4324V para un caso de 220 voltios eficaces.

### 3.2.6. CPU

En el bloque de CPU es donde se realiza la gestión y control del sistema. En lo que a hardware se refiere únicamente debemos justificar las puertas inversoras (7404). El esquemático es el siguiente:

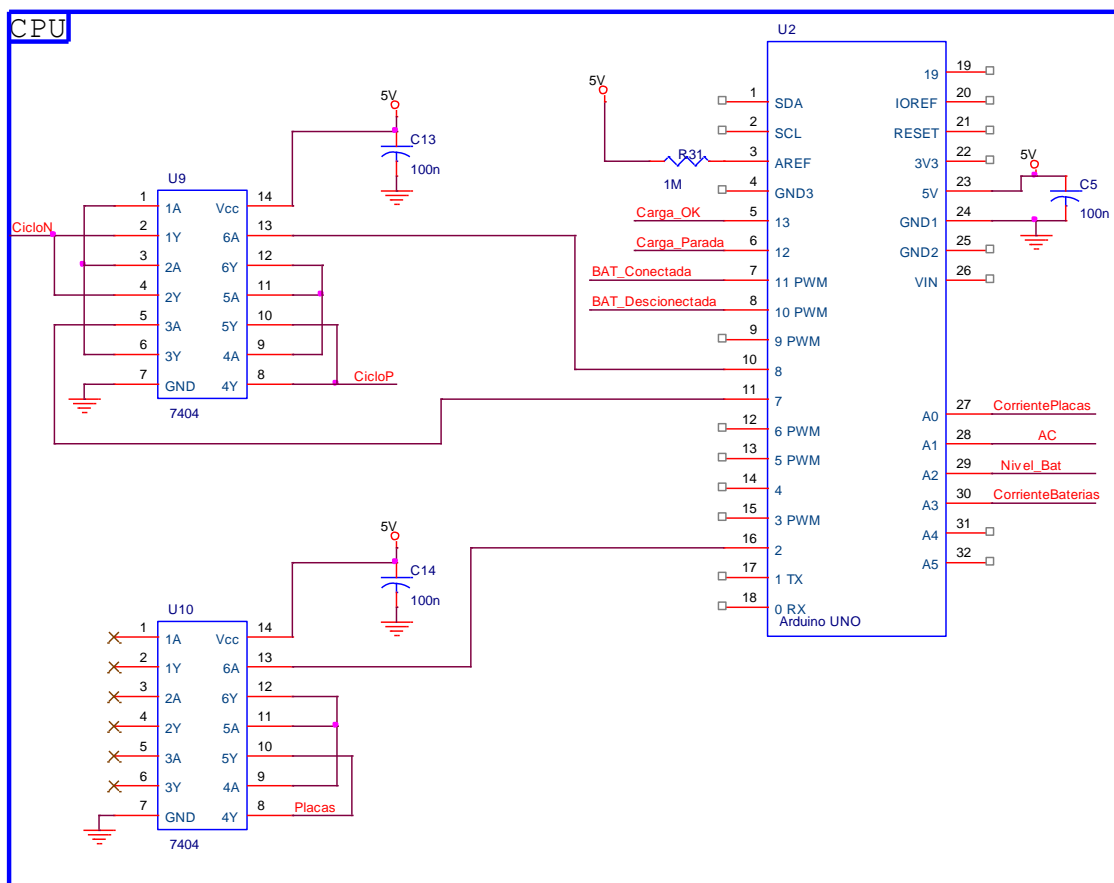


Figura 15: Esquemático CPU

La razón de la inclusión de las puertas inversoras es que las salidas digitales del microprocesador no proporcionan una salida correcta para activar y desactivar los conmutadores, o podrían no hacerlo. Para asegurar esta activación se colocan puertas inversoras según el siguiente esquema:

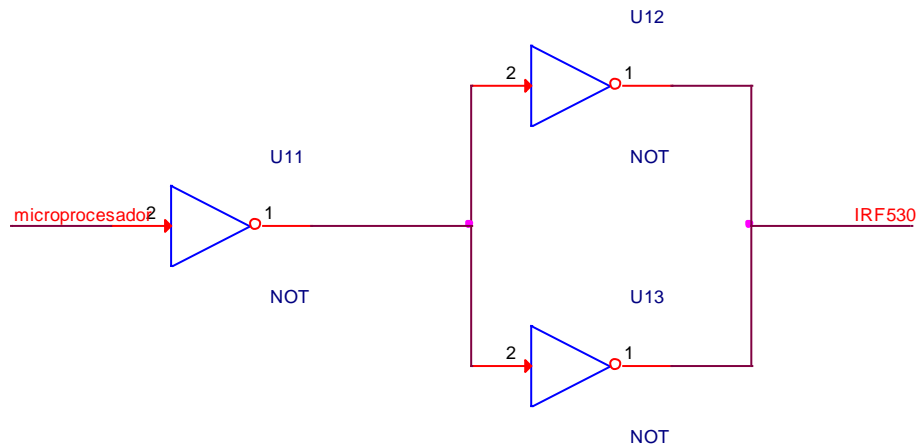


Figura 16: Configuración de puertas not.

De esta manera conseguimos asegurar la activación de los IRF530 y mantenemos la lógica de la señal deseada. Invertimos 2 veces la señal sin esto significar un gran retardo de la misma y, a su vez al compartir la salida dos de las puertas inversoras, conseguimos una mayor potencia en la salida.

### 3.2.7. Circuito de alarmas

El circuito de alarmas consta principalmente de cuatro diodos LED, activados por nivel bajo. El esquema es el siguiente:

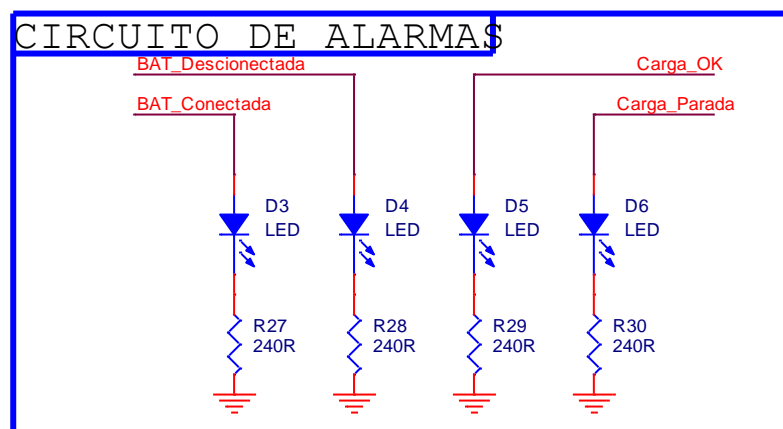


Figura 17: Esquemático circuito de alarmas.

Los LED tienen una corriente nominal de 20 mA y una tensión ánodo-cátodo de 1.2 V. Con la resistencia fijamos la corriente que pasa por el LED de manera que no sobrepase el valor nominal.



$$C_{LED} = \frac{5V - 1.2V}{240} = 0.0158 A$$

### Ecuación 14: Cálculo de corriente de los LED

La corriente obtenida con la resistencia propuesta cumple con los valores calculados anteriormente.



# CAPÍTULO 4

## DISEÑO DE SOFTWARE

---



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

En este apartado se expondrá el diseño de software. El único software en este proyecto está presente en la CPU. Dicho software se ha desarrollado sobre el IDE de Arduino. Este IDE combina un editor de textos con acceso a un compilador, enlace y cargador. Este IDE está desarrollado sobre el lenguaje C++ y lo implementa de manera más sencilla aunque menos versátil. En el IDE de Arduino no se programa igual que en C o C++, y las interrupciones, timers o las diferentes herramientas que normalmente proporciona un microprocesador a la hora de programar no se configuran de manera convencional, si no que existen diferentes funciones que utilizan dichas herramientas pero en una “capa” de programación inferior a la que tiene acceso el usuario. El IDE de Arduino tiene dos sentencias principales, la sentencia SETUP donde se inicializan los periféricos del microprocesador en caso de ser necesario y la sentencia LOOP que se trata de un bucle que se repite una y otra vez y es donde se encuentra el programa principal. Para desarrollar este software se ha considerado suficientemente versátil el IDE de Arduino.

A su vez, en este apartado no se comentará el programa a nivel de código, si no que se hará a nivel de diagrama de bloques y funcionalidad. El código se adjuntará en el anexo correspondiente.

El apartado se estructurará de la siguiente manera: primero se expondrá la funcionalidad requerida con el programa y posteriormente se presentará el diagrama general del programa con los diferentes bloques se explicará cada uno de los bloques presente desde el punto de vista que interese para comprender el diagrama general. A continuación se explicará de manera más exhaustiva cada uno de los bloques pertenecientes al diagrama general. Para finalizar este apartado, aunque no aparece especificado en los diagramas de flujo se ha preparado una interfaz de puerto serie con la CPU en la que se pueden leer más datos de los que se pueden obtener de la PCB, se explicarán los datos mostrados en un último apartado.

Hemos de tener en cuenta que los diagramas de bloques se han expuesto de manera que expresasen la funcionalidad y flujo del programa de la manera más sencilla. Por lo que puede que en ocasiones el código que implementa dicho diagrama de flujo no sea tan sencillo, sin embargo implementará la misma funcionalidad presente en el diagrama de flujo.



### 4.1. Funcionalidad requerida para el Software

#### 4.1.1. Gestión de la batería

- Se debe medir el tiempo de batería con la frecuencia que se crea necesaria con el fin de realizar la gestión de las baterías y conocer el nivel de estas.
- Cuando las baterías se descarguen se deberá desconectar la salida con el fin de que no se sigan descargando. Se volverán a conectar una vez se hayan cargado hasta un nivel superior. Ambos niveles se definirán en el programa. Se ha de tener en cuenta que el nivel al que se vuelvan a conectar las baterías después de haber estado descargadas debe asegurar un uso significativo antes de que se vuelvan a descargar.
- Cuando las baterías se encuentren sobrecargadas se deberán desconectar de los paneles solares. De la misma manera que cuando se encuentran descargadas se volverá a conectar a los paneles solares cuando las baterías tengan un nivel lo suficientemente bajo que garantice que los paneles no se volverán a desconectar por sobrecarga en un corto periodo de tiempo. Este umbral de reconexión será menor que el anterior con el fin de aprovechar en mayor medida la energía solar.

#### 4.1.2. Medición de corrientes

- Se deberán medir las corrientes tanto de carga de las baterías a través de los paneles solares como de descarga a través de la salida con el fin de mostrarlas al usuario.

#### 4.1.3. Control de la salida AC

- Se deberá generar una onda senoidal modificada de manera que a la salida del bloque DC/AC tengamos una tensión senoidal de 50Hz y 220 Vac. Para ello será necesario leer la salida y realizar las operaciones matemáticas necesarias para llevar a cabo dicho control.

#### 4.1.4. Indicadores LED

- Se deberán mostrar en los indicadores LED presentes en la placa, de manera cualitativa el estado de las baterías y las medidas de corriente realizadas.
- Para ello se proponen las siguientes asignaciones en los LED:
  - Batería descargada: Led Rojo de Baterías ON
  - Batería Cargada: Led Verde de Baterías ON





- Batería Sobrecargada: Led Verde de Baterías parpadeando.
- Corriente de carga de baterías despreciable: Led Verde de corrientes OFF
- Corriente de carga de Baterías normal: Led Verde de corrientes ON
- Corriente de carga de Baterías alta: Led Verde de corrientes parpadeando
- Corriente de Salida despreciable: Led Rojo de corrientes OFF
- Corriente de Salida normal: Led Rojo de corrientes ON
- Corriente de Salida alta: Led Rojo de corrientes Parpadeando

### 4.2. Diagrama de flujo general

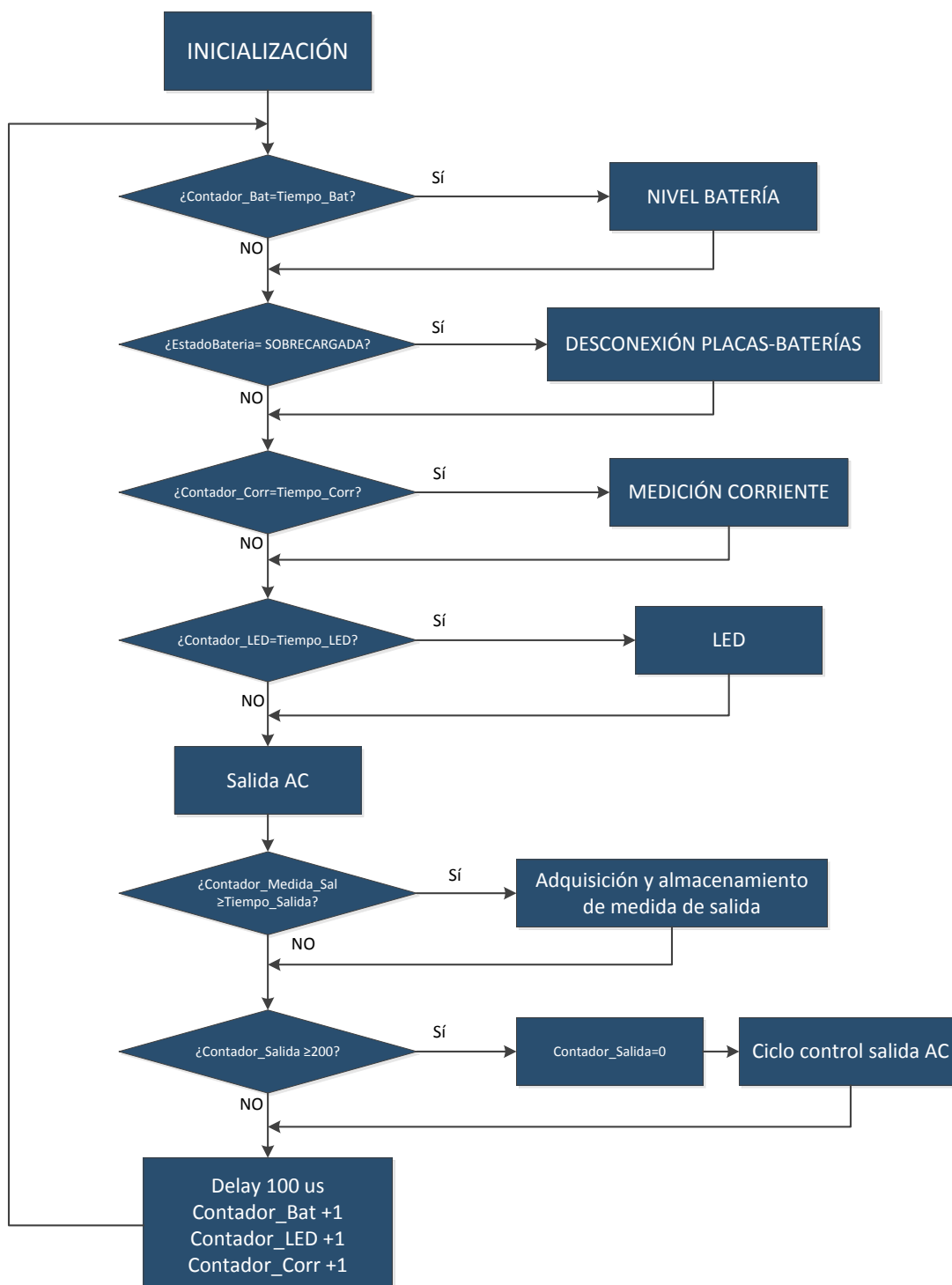


Figura 18: Diagrama de flujo general.



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

En primer lugar se ha de comentar que el ciclo principal se ejecuta cada 100 microsegundos. Consideraremos estos 100 microsegundos la unidad de tiempo base en nuestro programa y todo tiempo que se cuente o se mida lo hará en órdenes de esta unidad.

### 4.2.1. Variables de control de flujo del programa general

- Contador\_Bat: Se trata de un contador que mide el tiempo que ha de transcurrir entre medida y medida de baterías. Cuando la cuenta iguale el tiempo fijado entre medida y medida de baterías entraremos en la función NIVEL BATERÍA.
- Contador\_LED: Se trata de un contador que mide el tiempo de refresco de los indicadores LED de los que dispone la placa. Cuando la cuenta iguale el tiempo fijado como refresco entraremos en la función LED.
- Contador\_Corr: Se trata de un contador que mide el tiempo que ha de transcurrir entre medida de las corrientes. Cuando la cuenta iguale el tiempo fijado entre medida y medida de corrientes entraremos en la función MEDICIÓN CORRIENTE.
- Contador\_Salida: La salida de AC tiene una frecuencia de 50 Hz (20 ms de periodo). Con el fin de que la salida sea como nosotros queremos, es necesario que conozcamos en qué punto de esos 20 ms nos encontramos. En este caso dividimos esos 20 ms en 200 cuentas de 100 us. Cada 20 ms obtendremos la medida del valor eficaz de cada ciclo y con ello entraremos en el Programa de control.
- Contador\_Medida\_Sal: La salida se debe medir con el fin de realimentar nuestro sistema y que la salida tenga la amplitud que nosotros deseamos. Estas medidas deben tomarse durante cada ciclo. Con este contador medimos el tiempo transcurrido entre medidas de la salida.

### 4.2.2. Variables significativas del programa

- EstadoBatería: En esta variable se almacena el estado de la batería en cada momento. Dicha variable tiene tres posibles valores: DESCARGADA, CARGADA y SOBRECARGADA. Esta variable se modifica en la función NIVEL BATERIA y se utiliza



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

durante el programa para implementar la funcionalidad pretendida. Se inicializa con el estado CARGADA.

- Ancho\_Pulso: Esta variable determina el ancho de pulso de la señal sinusoidal modificada. Se modifica en el ciclo de control de la salida AC y se utiliza en la función salida AC. Puede tomar valores entre 0 y 98 (aunque la mitad del pulso sea 100 será necesario dejar un tiempo de desconexión entre ambas conmutaciones con el fin de que funcione correctamente). Se inicializa con un valor de 50.
- CorrienteEntrada: En esta variable se almacena de manera cualitativa el estado de la corriente de carga de las baterías. Puede tomar tres valores: DESPRECIABLE, NORMAL y ALTA. Se modifica en la función MEDICIÓN CORRIENTE y se inicializa con un valor de DESPRECIABLE.
- CorrienteSalida: En esta variable se almacena de manera cualitativa el estado de la corriente de descarga de las baterías. Puede tomar tres valores: DESPRECIABLE, NORMAL y ALTA. Se modifica en la función MEDICIÓN CORRIENTE y se inicializa con un valor de DESPRECIABLE.

### 4.2.3. Descripción del flujo general del programa

En este apartado describiremos el flujo de programa expuesto en el diagrama.

- Inicialización: En este bloque se inicializan los periféricos y las comunicaciones del microprocesador. También se inicializan las variables principales de programa tal como se ha expuesto anteriormente y las variables de flujo exceptuando Contador\_Salida se inicializan con su valor máximo de manera que el primer ciclo se ejecuten todas las funciones.
- El siguiente paso sería la comparación del contador de baterías con el tiempo de baterías.
  - o En caso de coincidir: Se ejecutaría nivel baterías. Esta función nos da como salida el EstadoBaterias. Se reinicia Contador\_Bat.
  - o En caso de no coincidir: Se pasará al siguiente bloque.



- Si el EstadoBaterias tiene un valor de SOBRECARGADA. Se desconectarán las baterías de los paneles solares.
- Se comparará el contador de medición de corrientes con el tiempo establecido.
  - o En caso de coincidir: Se ejecutará medición de corrientes. Esta función nos da como salidas el estado de CorrienteEntrada y CorrienteSalida.
  - o En caso de no coincidir: Se pasará al siguiente bloque.
- Se comparará el contador de LED con el tiempo de refresco estipulado para los LED.
  - o En caso de coincidir: Se ejecutará la función LED. Esta función gestiona el encendido de los LED dependiendo de los valores de EstadoBaterias, CorrienteEntrada y CorrienteSalida.
  - o En caso de no coincidir: Se pasará al siguiente bloque.
- Se ejecuta la función Salida: Esta función gestiona la construcción de la onda sinusoidal modificada, dependiendo de la variable ancho de pulso y del Contador\_Salida.
- Se compara el Contador\_Medida\_Sal con el periodo estipulado entre medidas:
  - o En caso de coincidir: Se almacena el dato adquirido por el ADC. Teniendo en cuenta que como medimos una señal alterna debemos fijar un valor central y almacenar la diferencia entre este valor central y la medida en valor absoluto.
  - o En caso de no coincidir: Se pasará al siguiente bloque.
- Se compara el Contador\_Salida para saber si ya estamos en el final del ciclo.
  - o En caso de coincidir: Se reinicia dicho contador y se ejecuta el ciclo de control de la salida. Encargado de modificar la variable ancho de pulso con el fin de tener siempre 220V a la salida.
  - o En caso de no coincidir: Se pasa al siguiente bloque.
- Al final del bloque se hace un delay de 100us y se incrementan los contadores de baterías, LED y corriente.



### 4.3. Nivel Batería

Esta función implementa el control de las baterías. Como argumento de entrada tiene el estado de las baterías y lo modifica en función de lo que se lee. De las baterías.

Como se ha explicado en las funcionalidades requeridas se ha de implantar un control del nivel de baterías regido por estados. Llegados a un umbral y dependiendo del estado en el que nos encontremos pasaremos a uno u otro estado. Este control por estados se explicará mejor con el diagrama de flujo de esta función.

Además en la función deberemos leer de la entrada analógica correspondiente y transformar el valor obtenido (de 0 a 1023) a un valor de tensión equivalente.

A continuación mostramos el diagrama de flujo de nuestra función.

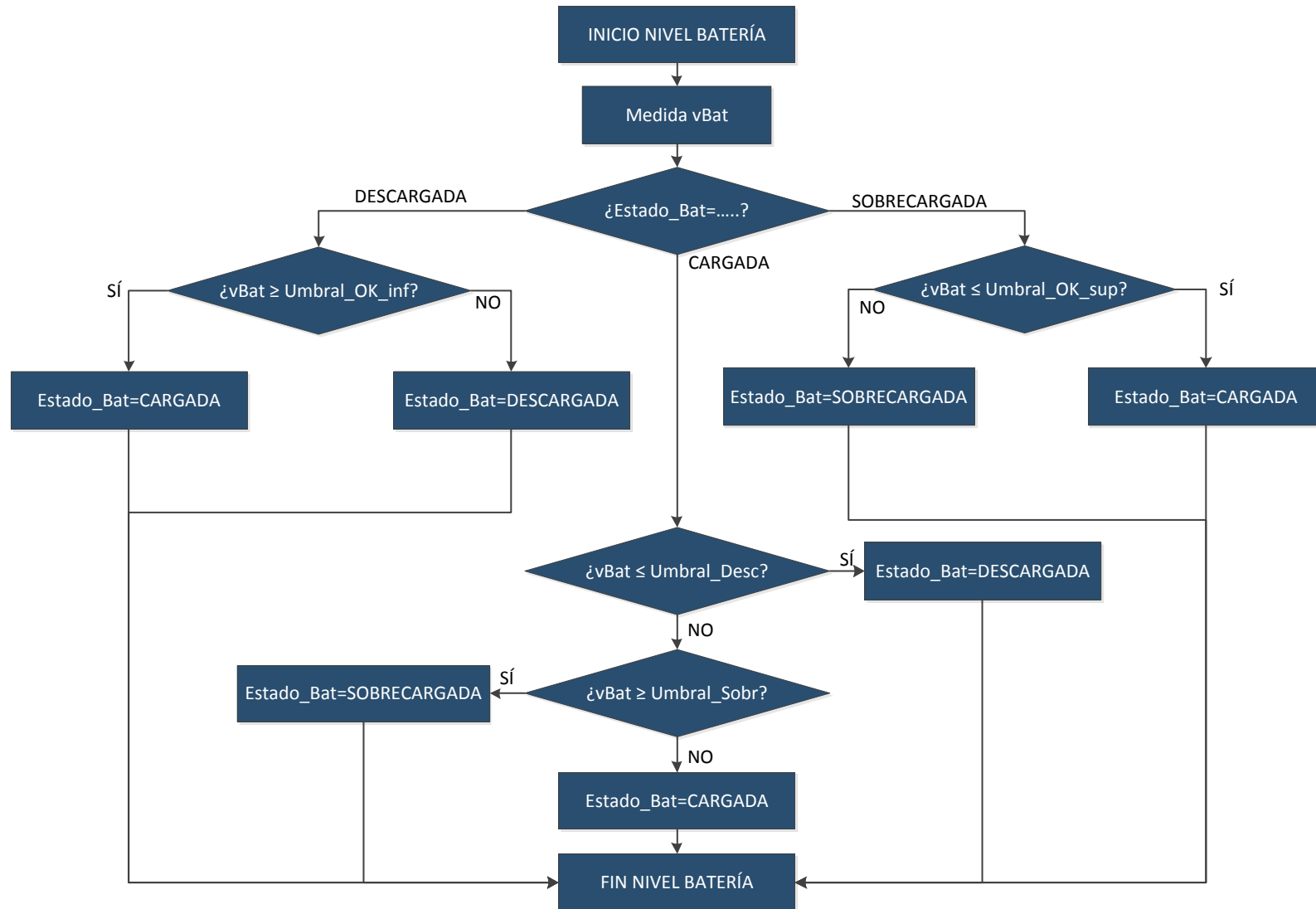


Figura 19: Diagrama de flujo de NIVEL BATERÍA



Podemos dividir la función nivel baterías en dos partes:

- La primera parte consiste en la adquisición del dato del valor de la batería actual. Leemos de la patilla analógica correspondiente y realizamos la transformación del valor obtenido (un entero de 10 bits) al valor de batería con el que nosotros comparamos. Usamos un único decimal para el valor de la tensión de las baterías.
- La segunda parte consiste en el sistema de control del estado de baterías, para ello se va a explicar de manera más clara en la siguiente tabla:

ESTADO INICIAL	VALOR DE vBat	ESTADO FINAL
CARGADA	$\geq \text{Umbral\_Sobr}$	SOBRECARGADA
	$\leq \text{Umbral\_Desc}$	DESCARGADA
	(Umbral_Desc, Umbral_Sobr)	CARGADA
DESCARGADA	$\geq \text{Umbral\_OK\_inf}$	CARGADA
	$< \text{Umbral\_OK\_inf}$	DESCARGADA
SOBRECARGADA	$\leq \text{Umbral\_OK\_sup}$	CARGADA
	$> \text{Umbral\_OK\_sup}$	SOBRECARGADA

**Tabla 14: Nivel de baterías. Control de estado.**

Hemos de apuntar que:

$$\text{Umbral\_Desc} < \text{Umbral\_OK\_inf} < \text{Umbral\_OK\_sup} < \text{Umbral\_Sobr}$$



### 4.4. Salida AC

Esta función se encarga de controlar los conmutadores de salida con el fin de generar la onda senoidal modificada a la salida. Como argumentos de entrada tiene las variables Ancho\_Pulso, EstadoBaterías y Contador\_Salida.

Ancho\_Pulso indica la longitud que ha de tener cada onda cuadrada inyectada en el transformador (tanto la positiva como la negativa).

En función de EstadoBaterías se habilita la salida o no, en caso de que las baterías se encuentren DESCARGADAS la salida se encuentra deshabilitada.

Contador\_Salida nos indica en qué punto de cada ciclo de salida estamos. Esta variable se modifica en esta función: o bien se incrementa en uno en caso de que el ciclo se ejecute de manera satisfactoria o bien se pone a 0 en caso de que la salida se encuentre deshabilitada.

El diagrama de flujo de esta función se muestra a continuación:

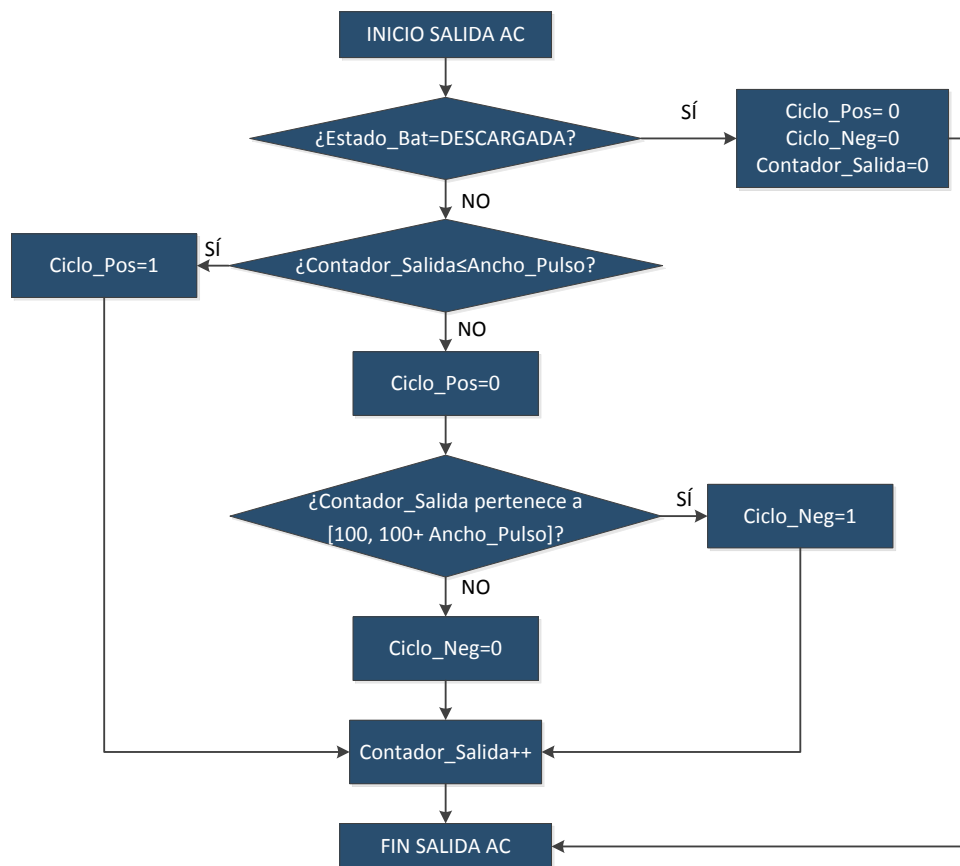


Figura 20: Diagrama de flujo Salida AC

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

### 4.5. LED

Esta función gestiona el encendido de los diodos leds en función de una serie de variables de estado del sistema tales como: EstadoBateria, CorrienteEntrada y CorrienteSalida. Para implementar el parpadeo el programa se apoya en una variable de tipo booleana auxiliar, Led\_Blink. Gestiona los Led tal y como se pide en el apartado de requisitos funcionales.

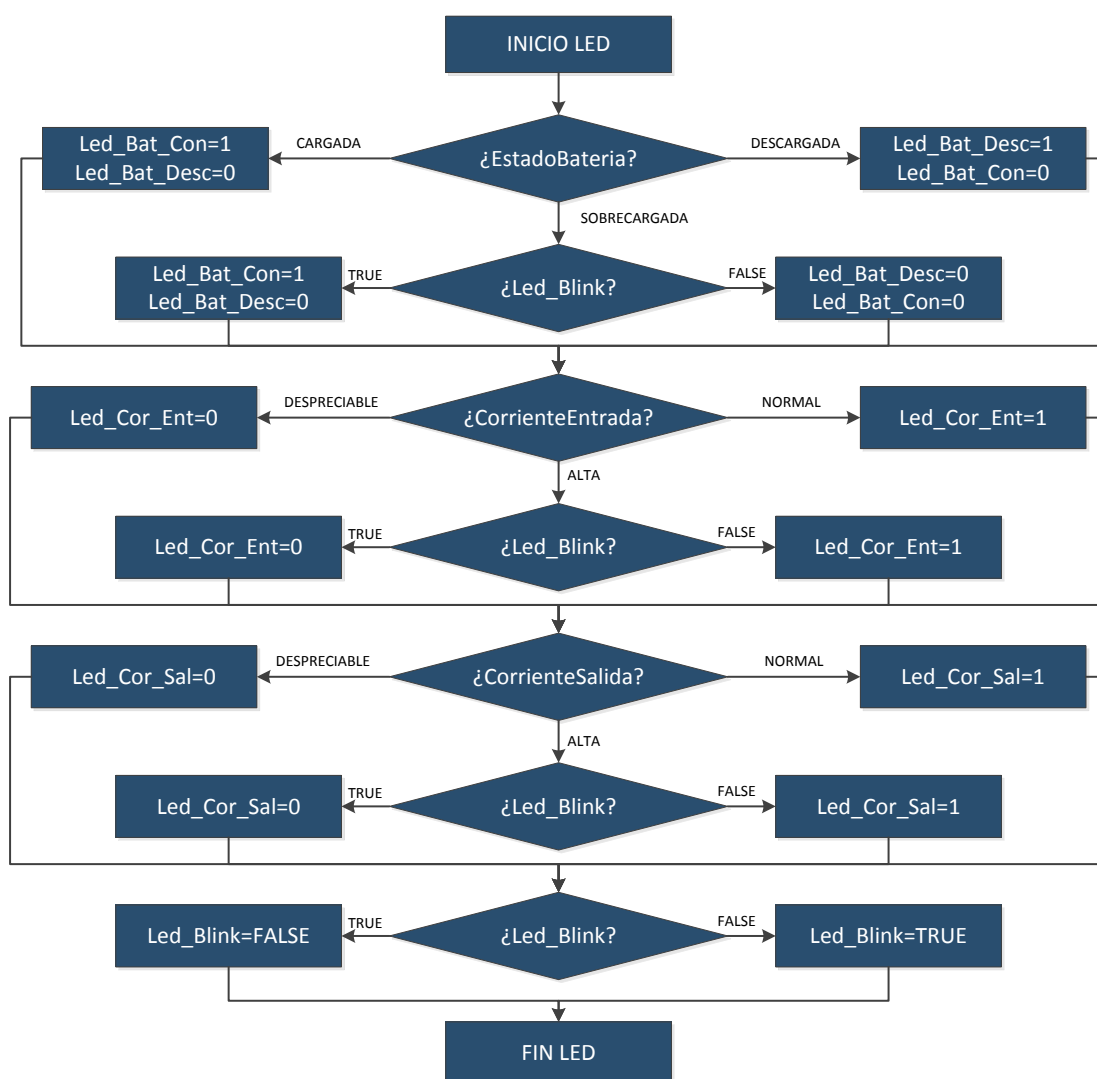


Figura 21: Diagrama de Flujo LED



### 4.6. Medición de corriente

Este bloque gestiona las lecturas de corriente, tanto de las placas solares a las baterías (CorrienteEntrada) como de las baterías a la salida (CorrienteSalida) y da valor a estas dos variables. Recordamos que el valor de estas variables puede ser únicamente DESPRECIABLE, NORMAL y ALTA.

Otro punto a resaltar es la frecuencia de dichas medidas. Para el caso de la corriente de entrada servirá con una única medida con una frecuencia menor a la de salida. Una medida por segundo será suficiente. Sin embargo, en el caso de la corriente de salida se deben hacer una serie de medidas por cada ciclo de salida de manera que se pueda realizar una media. La razón de necesitar una mayor frecuencia en el caso de la salida es que esta se trata de una señal pulsante y, por tanto si realizásemos una única medida por ciclo los datos obtenidos podrían no ser representativos de la corriente que sale de las baterías.

Estas frecuencias se implementan mediante un sistema de contadores uno sobre otro. Con el tiempo de medición de corrientes, que aparece en el diagrama de flujo principal, fijamos la frecuencia de las medidas de corriente salida. Con el contador Muestras, fijamos el número de muestras que queremos tomar de la corriente (se podrá hacer para más de un ciclo si se cree oportuno), al alcanzar el número de muestras deseado se realizará la media. Con ese valor realizaremos una comparación con unos umbrales prefijados para determinar si la corriente es despreciable, normal o alta. Para el caso de la corriente de entrada se realizará otra comparación con otro contador y con una única medida se realizará la comparación con los umbrales para determinar la corriente.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

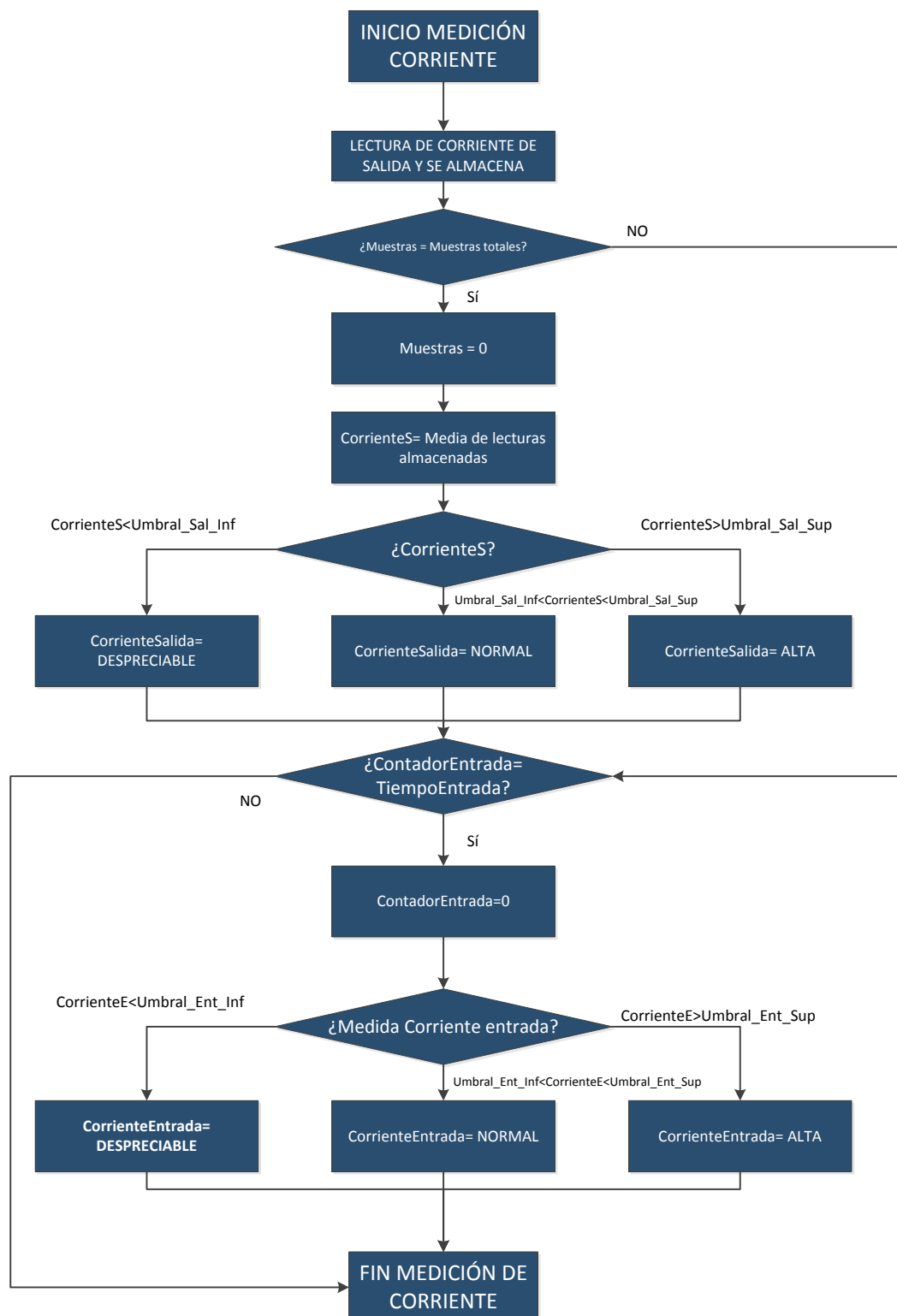


Figura 22: Diagrama de flujo: Medición de corrientes

## 4.7. Ciclo de control de la salida AC

Este bloque tiene como entradas el array de valores de tensión medida y de salida el valor de ancho de pulso.

En este bloque se realiza el control de la salida AC. Como se ha explicado en apartados anteriores la salida se modifica mediante el ancho de pulso. Para este control se toma el dato de la media de los valores de tensión de salida obtenidos. Recordar que se trata del valor medio del valor absoluto de la amplitud.

Al tener un tiempo de muestreo relativamente alto nos permite implementar un algoritmo de control bastante sencillo. Se compara el valor medio de la tensión de salida con unos valores prefijados, si el valor se encuentra dentro del rango se mantiene el valor de ancho de pulso que hay, si es menor se incrementa y si es mayor se decrementa. Estos incrementos/decrementos se tratan de un valor fijo.

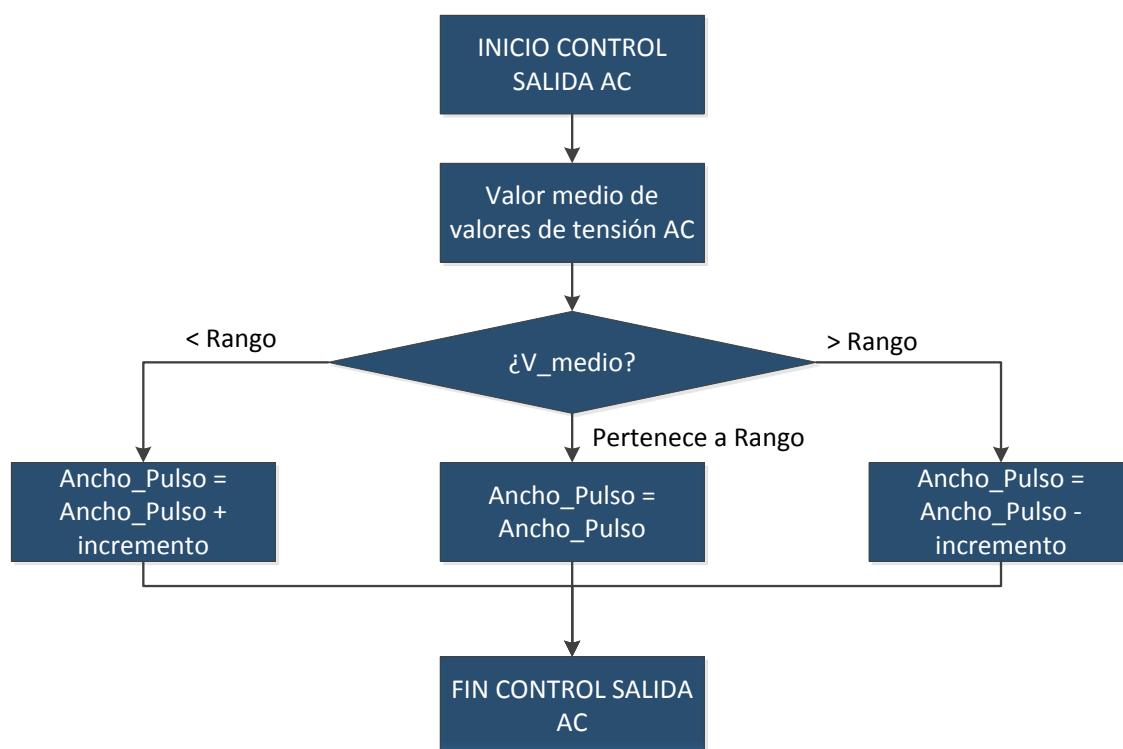


Figura 23: Diagrama de flujo control salida AC



### 4.8. Mensaje recibido por el puerto serie

Durante el algoritmo de programa se envía información por un puerto serie a 9600 baudios. Los datos enviados son los siguientes:

- Valor de tensión de las baterías con un decimal
- Estado de carga de las baterías (CARGADA, DESCARGADA o SOBRECARGADA)
- Estado de la corriente de los paneles solares (DESPRECIABLE, NORMAL, ALTA)
- Estado de la corriente de las baterías (DESPRECIABLE, NORMAL, ALTA)

Estos datos podrán ser mostrados en un ordenador con una aplicación de puerto serie (hyperterminal por ejemplo) o mediante la herramienta serial monitor del entorno de desarrollo de arduino.

### 4.9. Consideraciones posteriores al diseño

Durante la fase de pruebas se detectó un problema en lo que al software se refiere. El microprocesador no era capaz de ejecutar el programa en tiempo real. Se detectó que gran parte del problema venía de que la función del lenguaje de arduino analogRead() consumía gran parte del tiempo.

Llegados a este punto del proyecto no era posible un cambio de CPU por lo que se decidió eliminar una de las medidas de corriente, la de la corriente de salida. Se comprobó que al omitir estas medidas la CPU era capaz de llevar a cabo la rutina de programa en tiempo real.



# CAPÍTULO 5

## CONSTRUCCIÓN Y

## PRUEBAS

---



### 5.1. Construcción del prototipo

Con el fin de probar el diseño realizado se construyó un prototipo. Se implementó en layout de la PCB con el software de cadence PCB editor.

A la hora de realizar el rutado de la PCB se siguieron las reglas de diseño que siguen:

- Ancho de pista dependiendo de la corriente de cada una de ellas. Al no tener ninguna capa interna para cada una de las pistas se aplicaron las reglas para pistas exteriores.
- Masas estrelladas: Se intentó estrellar las masas de manera que las señales digitales no influyesen en las medidas analógicas. Hemos de tener en cuenta que al tener únicamente dos capas, este objetivo no pudo cumplirse completamente.
- Alimentaciones estrelladas: De la misma manera, para que los dispositivos que consumiesen más no influyesen en las tensiones de los circuitos analógicos se intentó estrellar las alimentaciones.

Los gerber de fabricación de la PCB se adjuntan en un anexo.

Se fabricó en una placa de doble cara de 35um de espesor de cobre. El circuito impreso se realizó mediante baño en ácido de placas fotosensibles. Esta tecnología tiene ciertas restricciones en cuanto a tamaño mínimo de las pistas y las huellas de los componentes.

Posteriormente se ensamblaron los componentes manualmente. Obteniendo el resultado que mostramos a continuación:

Durante la fase de pruebas se tuvo que realizar alguna modificación siendo el resultado final el diseño anteriormente presentado. Estos cambios no afectaban a las funcionalidades especificadas por ello no se documentaron. Para el caso de la modificación mencionada en software sí afectaba a la funcionalidad, razón por la que se muestra el diseño completo y posteriormente se puntualiza que no ha sido posible implementarlo.



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

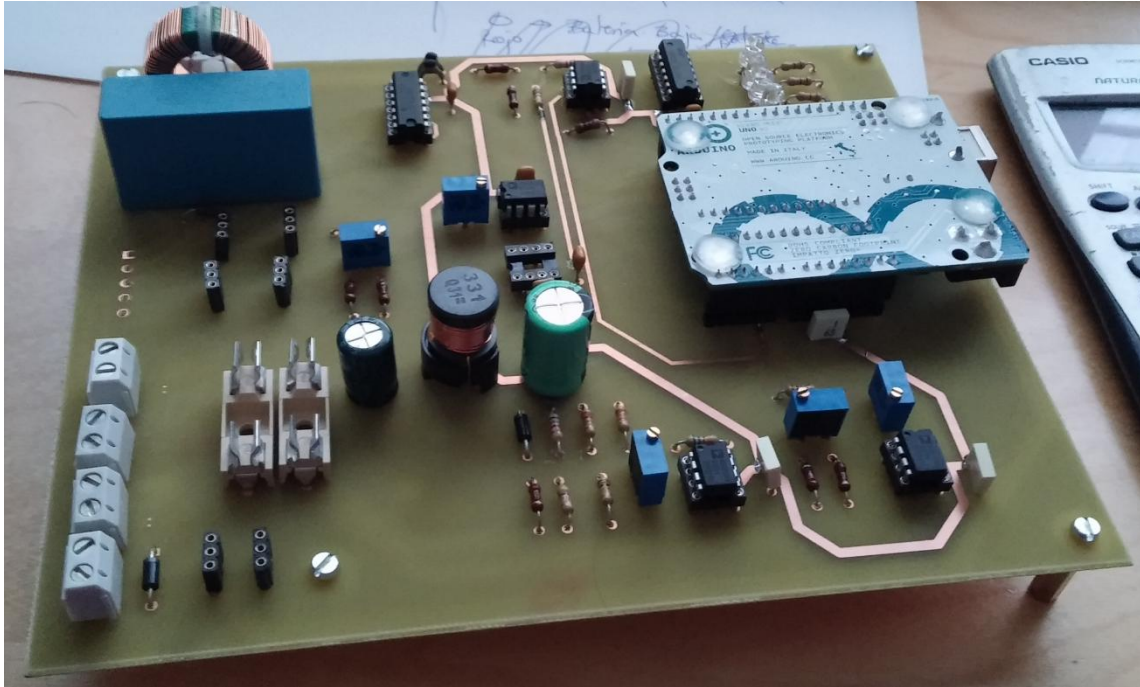


Figura 24: Circuito impreso tras fabricación

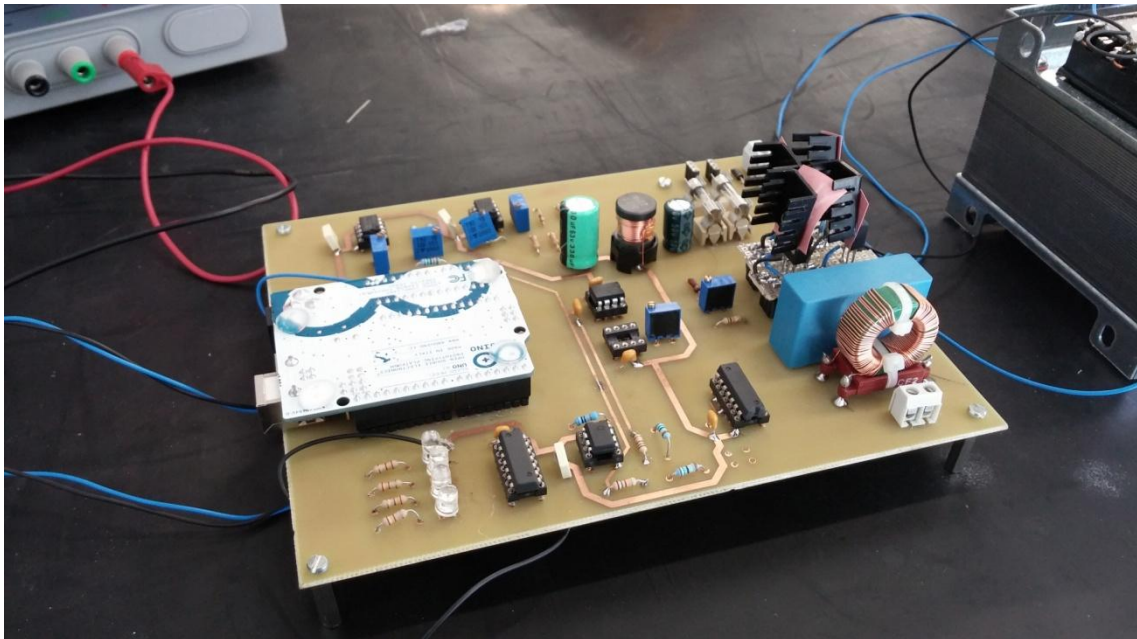


Figura 25: Circuito impreso tras modificaciones

## 5.2. Plan de pruebas

El objeto del presente plan de pruebas es comprobar y documentar el correcto funcionamiento del sistema realizado. Se definirán las pruebas a llevar a cabo así como los criterios de superación de dichas pruebas. Posteriormente se presentarán los resultados obtenidos al pasar el presente plan de pruebas.

### 5.2.1. Medida de la corriente de las placas solares

Para comprobar el correcto funcionamiento de la medida de la corriente de las placas solares se hará pasar una corriente por la resistencia de shunt entre los paneles solares y las baterías.

#### 5.2.1.1. Equipo necesario para la prueba

Para realizar esta prueba serán necesarios los siguientes equipos:

- Fuente de tensión DC
- Carga programable DC
- Ordenador

#### 5.2.1.2. Montaje de la prueba

Para llevar a cabo la prueba se realizará el siguiente montaje:

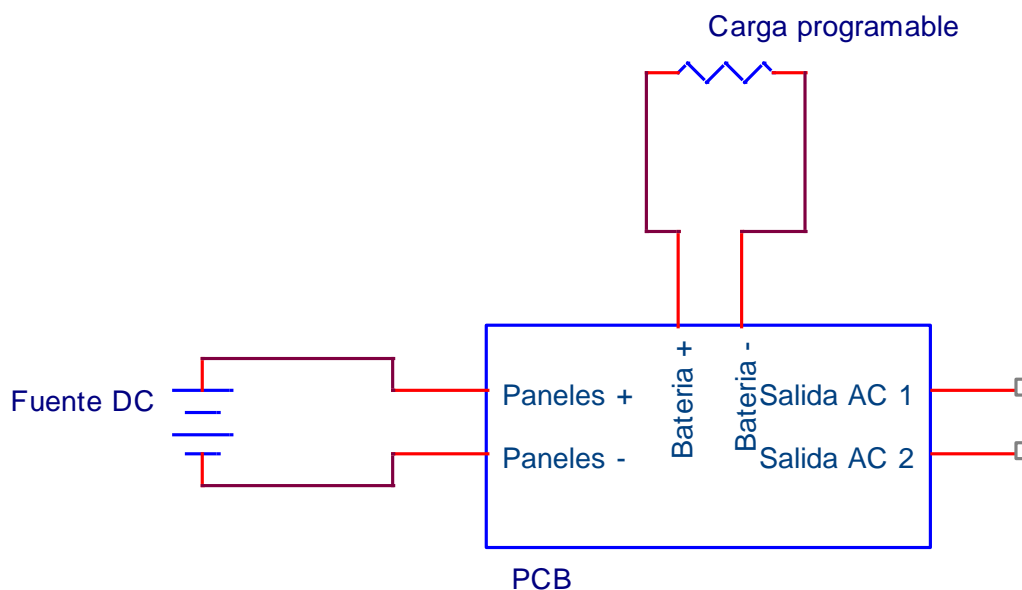


Figura 26: Montaje prueba de medición de corriente



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

Se conectará la fuente de tensión en lugar de los paneles solares simulando el aporte de corriente de estos y la carga programable en el lugar de las baterías simulando el “consumo” de las baterías mientras estas cargan.

### 5.2.1.3. Procedimiento

Para llevar a cabo la prueba se conectará la fuente de tensión a una tensión entre 44.8V y 55.2 V (tensión que deben tener las baterías) y se fijará la limitación en corriente de las baterías con el fin de que no interceda en la prueba.

Se configurará la carga programable en modo de corriente continua.

Se irá subiendo la corriente en intervalos de 0.1A y comprobando la salida obtenida por el puerto serie del ordenador. La salida deberá mostrar los tres estados designados para la corriente en cuanto se pasen los rangos establecidos. Se comprobará la salida LED de manera visual.

### 5.2.1.4. Criterio de superación de la prueba

Para pasar la prueba de manera satisfactoria se debe obtener el resultado esperado para cada uno de los valores de corriente. En este caso se han fijado los umbrales de la siguiente manera:

DESPRECIABLE > 1.5A ≥ NORMAL > 3A ≥ ALTA

De la misma manera el LED designado para la corriente de los paneles solares debe mantenerse apagado cuando la corriente sea despreciable, debe estar encendido cuando la corriente sea normal y debe parpadear cuando la corriente sea alta.

### 5.2.2. Medida de la tensión de las baterías

Para comprobar el correcto funcionamiento de la medida de tensión de las baterías colocaremos la fuente de tensión simulando las baterías. Se definirá el montaje, el equipo necesario, el procedimiento y el criterio de superación de la prueba.

#### 5.2.2.1. Equipo necesario para la prueba

Para realizar esta prueba serán necesarios los siguientes equipos:

- Fuente de tensión DC
- Ordenador
- Osciloscopio digital (por lo menos 3 canales)

#### 5.2.2.2. Montaje de la prueba

Para llevar a cabo la prueba se realizará el siguiente montaje:

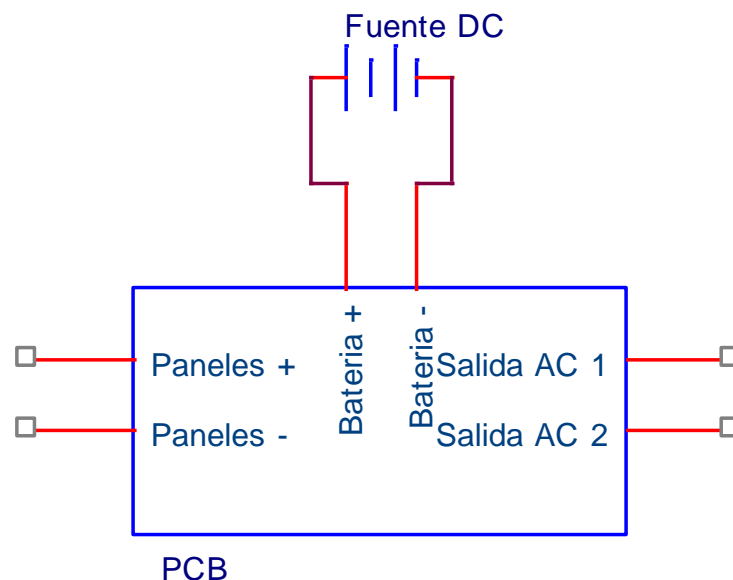


Figura 27: Montaje de medida de tensión de baterías

Se conectará la fuente de tensión al conector en el que deberían ir las baterías.

#### 5.2.2.3. Procedimiento

Para llevar a cabo la prueba se conectará la fuente de tensión a una tensión entre 44.8V y 55.2 V (tensión que deben tener las baterías) y se fijará la limitación en corriente de las baterías con el fin de que no interceda en la prueba.



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

Se conectarán tres sondas del osciloscopio midiendo entre las net que aparecen a continuación y la masa de la pcb:

- V\_Bat: Tensión de las baterías, en ese caso salida de la fuente de tensión.
- BAT\_Desconectada: Led rojo que indica el nivel de baterías.
- BAT\_Conectada: Led verde que indica el nivel de baterías

Mediante los LED y la salida del puerto serie confirmamos que el microprocesador se encuentra en el estado indicado (DESCARGADAS, CARGADAS o SOBRECARGADAS) y con ello, que los paneles solares y la salida están conectados o desconectados. Se disponen de 3 sondas, lo que hace que no se pueda medir todo a la vez y, para este caso, se considera más interesante la salida de los LED que las conmutaciones de los paneles y la salida.

Durante el desarrollo de la prueba se irá anotando el valor obtenido en el osciloscopio y el que da el ordenador por el puerto serie. Así como el estado de cada uno de los dos LED.

Se empezará la prueba en una tensión en la que las baterías se encuentren cargadas, 48V por ejemplo. A partir de ese valor se irá reduciendo la tensión en intervalos de 0.2V ó 0.3V (la precisión que la fuente permita) y se seguirá bajando el nivel de tensión hasta que se llegue a un estado de batería descargada, en ese momento se empezará a subir la tensión hasta obtener un estado de batería sobrecargada. Una vez llegados al estado de batería sobrecargada se volverá a bajar el nivel de tensión hasta obtener un estado de batería cargada.

### 5.2.2.4. Criterio de superación de la prueba

Para superar esta prueba de manera satisfactoria se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Que la medida de tensión dada por el puerto serie del ordenador y la medida del osciloscopio no difiera, en ningún caso, más de 0.3V.
- Que en no más de un 5% de los casos la diferencia entre las medidas del osciloscopio y las mostradas por pantalla sean mayores de 0.2V.
- Que en ningún caso el estado de baterías mostrado por pantalla y el funcionamiento de los LED, no coincidan con la lectura de tensión obtenida por el puerto serie.

Se han configurado los siguientes umbrales:

- Umbral para pasar de CARGADA a DESCARGADA: 44.9V
- Umbral para pasar de DESCARGADA a CARGADA: 47V
- Umbral para pasar de CARGADA a SOBRECARGADA: 55.1 V
- Umbral para pasar de SOBRECARGADA a CARGADA: 52V

### 5.2.3. Prueba salida AC

Para realizar la prueba de la salida AC, se mostrará como el microprocesador regula la salida para mantener constante la tensión de salida, y, por no disponer de medios para medir la corriente de salida, se conectará a un flexo para mostrar que la salida es capaz de alimentar el flexo y hacer que este luzca.

#### 5.2.3.1. Equipo necesario para la prueba:

Para realizar esta prueba serán necesarios los siguientes equipos:

- Fuente de tensión DC
- Ordenador
- Osciloscopio digital (por lo menos 3 canales)
- Flexo

#### 5.2.3.2. Montaje de la prueba:

Para llevar a cabo la prueba se realizará el siguiente montaje:

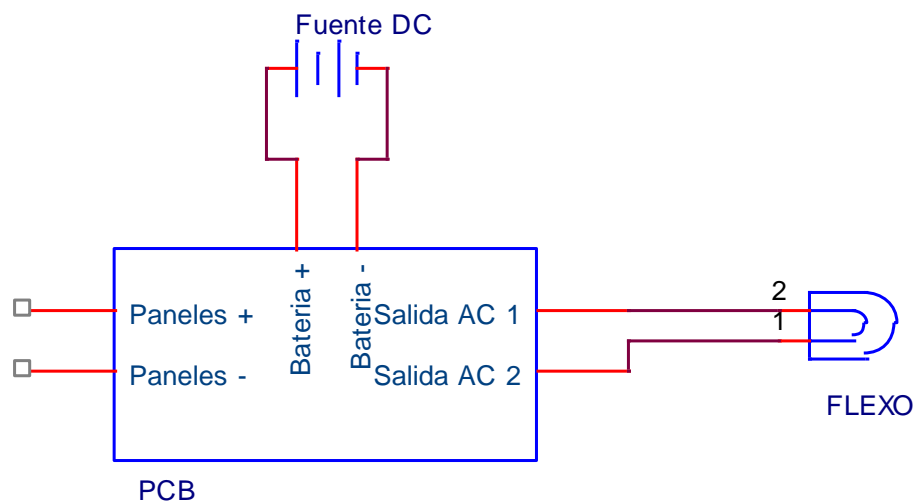


Figura 28: Montaje prueba salida AC



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

Se conectará la fuente de tensión DC simulando las baterías del sistema y a la salida el flexo.

### 5.2.3.3. Procedimiento

Para llevar a cabo la prueba se conectará la fuente de tensión a una tensión entre 44.8V y 55.2 V (tensión que deben tener las baterías) y se fijará la limitación en corriente de las baterías con el fin de que no interceda en la prueba.

Debemos dividir el procedimiento en dos partes, puesto que no es posible medir la tensión de salida con el osciloscopio mientras se miden el resto de magnitudes que se quiere medir. Esto es porque se quieren medir la tensión de baterías, y monitorizar las señales de control de los conmutadores que generan la señal de entrada del transformador. Con estas tres señales ocuparíamos tres de los canales del osciloscopio, sobrando uno, que no se podría utilizar para medir la salida AC puesto que ninguno de los terminales de la salida está a masa, y en caso de querer medir con un solo canal cortocircuitaríamos uno de los terminales de salida con la masa del sistema. La otra alternativa para medir sería hacerlo en modo diferencial, pero se necesitarían dos canales de los que no disponemos.

En la primera parte se medirán con respecto a masa las siguientes net de la PCB:

- V\_Bat: Tensión de salida de la fuente de tensión que simula las baterías.
- CicloN: Señal de control del conmutador que genera la parte positiva de la onda.
- CicloP: Señal de control del conmutador que genera la parte negativa de la onda.

Para demostrar que la salida regula para tener la misma tensión de salida se modificará la tensión de entrada y se observará, de manera cualitativa, como los pulsos de las señales CicloN y CicloP se hacen más anchos o más estrechos en función del nivel de tensión de las baterías (la fuente de tensión en este caso). Se medirá la tensión de salida con un polímetro con el fin de demostrar que la tensión de salida es constante.

En la segunda parte monitorizaremos la salida, midiendo con una única sonda la tensión de salida mientras el flexo luce.



### 5.2.3.4. Criterio de superación de la prueba

Se dará por superada la prueba si se pasan los siguientes requisitos:

- Se aprecia una diferencia del ancho de pulso cuando modificamos la tensión de las baterías y la salida permanece constante.
- Se aprecia una tensión de salida con una frecuencia de 50 Hz y el nivel de tensión esperado.
- La salida tiene un nivel de tensión entre 180 y 190 Vac.



### 5.3. Resultados

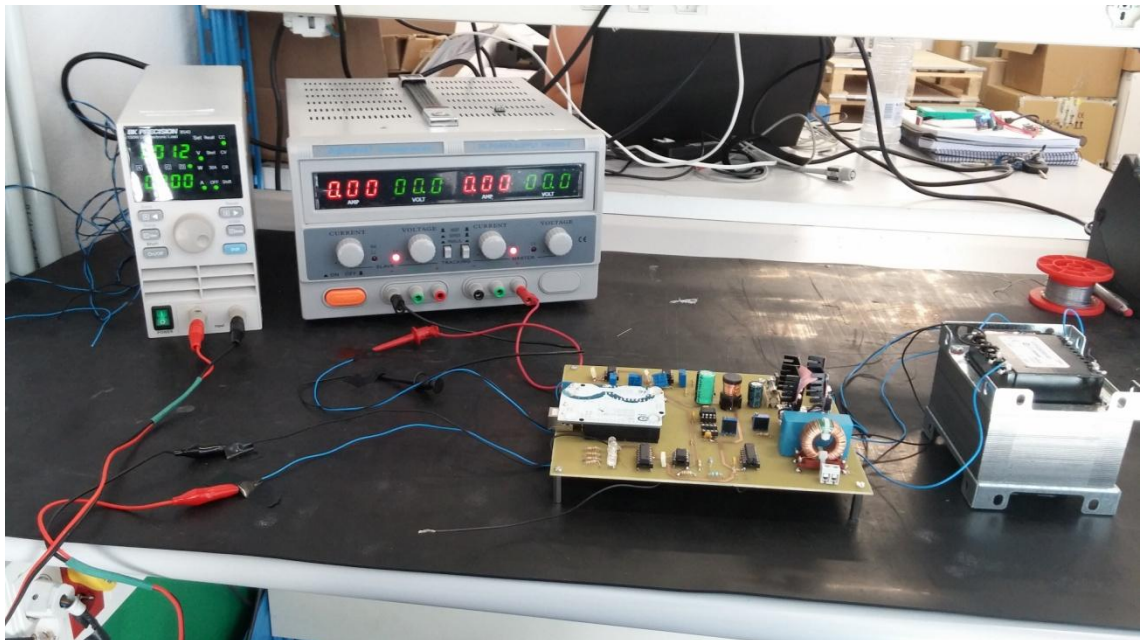
En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos al pasar el plan de pruebas descrito en el apartado anterior.

#### 5.3.1. Medida de corriente

En este apartado se muestran los resultados correspondientes a la prueba de medida de corriente.

##### 5.3.1.1. Banco de pruebas

Se montó un banco de pruebas tal y como se describe en el plan de pruebas:



**Figura 29: Banco de pruebas medida de corriente**

Los equipos utilizados son los siguientes:

- Fuente de tensión DC: Digimess Concept series PM3006-2
- Carga programable: BK precisión 8540 150W
- Ordenador

**Circuito cargador de baterías con inversor  
integrado para paneles solares de alta tensión.****5.3.1.2. Desarrollo de la prueba**

Se siguió el procedimiento planteado en el plan de pruebas, obteniendo los siguientes resultados, hemos de remarcar que debido a que la carga programable utilizada era de 150W únicamente se pudo llegar a 3.1A.

<b>CORRIENTE DEMANDADA POR LA CARGA (A)</b>	<b>LECTURA DEL ORDENADOR</b>	<b>ESTADO DEL LED</b>	<b>OK/FAIL</b>
0	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
0.1	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
0.2	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
0.3	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
0.4	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
0.5	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
0.6	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
0.7	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
0.8	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
0.9	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
1.0	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
1.1	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
1.2	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
1.3	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
1.4	DESPRECIABLE	APAGADO	OK
1.5	NORMAL	LUCIENDO	OK
1.6	NORMAL	LUCIENDO	OK
1.7	NORMAL	LUCIENDO	OK
1.8	NORMAL	LUCIENDO	OK
1.9	NORMAL	LUCIENDO	OK
2.0	NORMAL	LUCIENDO	OK
2.1	NORMAL	LUCIENDO	OK

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

2.2	NORMAL	LUCIENDO	OK
2.3	NORMAL	LUCIENDO	OK
2.4	NORMAL	LUCIENDO	OK
2.5	NORMAL	LUCIENDO	OK
2.6	NORMAL	LUCIENDO	OK
2.7	NORMAL	LUCIENDO	OK
2.8	NORMAL	LUCIENDO	OK
2.9	NORMAL	LUCIENDO	OK
3.0	ALTA	LUCIENDO	OK
3.1	ALTA	LUCIENDO	OK

Tabla 15: Resultados medición de corriente

Durante la prueba se hicieron fotos de los estados más significativos y capturas de pantalla de lo recibido por el puerto serie del ordenador.

- Con un consumo de 0 A:



Figura 30: Carga programable consumiendo 0 A

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

ESTADO DE BATERIA: CARGADA

Corriente de los paneles solares: DESPRECIABLE

Battery voltage (V): 47.7

Figura 31: Lectura del ordenador cuando se consume 1 A

Como se puede apreciar, la lectura obtenida para un consumo de corriente de 0A es menor al umbral y, por tanto da una lectura de corriente despreciable.

- Con un consumo de 1.5 A:



Figura 32: Carga programable consumiendo 1.5 A

Corriente de los paneles solares: NORMAL

Battery voltage (V): 46.9

ESTADO DE BATERIA: CARGADA

Figura 33: Lectura del ordenador cuando se consume 1.5 A

Podemos observar como en este caso sí que se ha pasado el primer umbral y, por tanto, el por el puerto serie obtenemos una lectura de corriente NORMAL

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

- Con un consumo de 3 A:



Figura 34: Carga programable consumiendo 3 A

Battery voltage (V): 46.1  
ESTADO DE BATERIA: CARGADA  
Corriente de los paneles solares: ALTA

Figura 35: Lectura del ordenador cuando se consume 3 A

En este caso ya se ha pasado el segundo umbral y por el puerto serie se recibe una lectura de corriente alta.

### 5.3.1.3. Conclusiones de la prueba

A la vista de los resultados la prueba se ha pasado de manera satisfactoria.

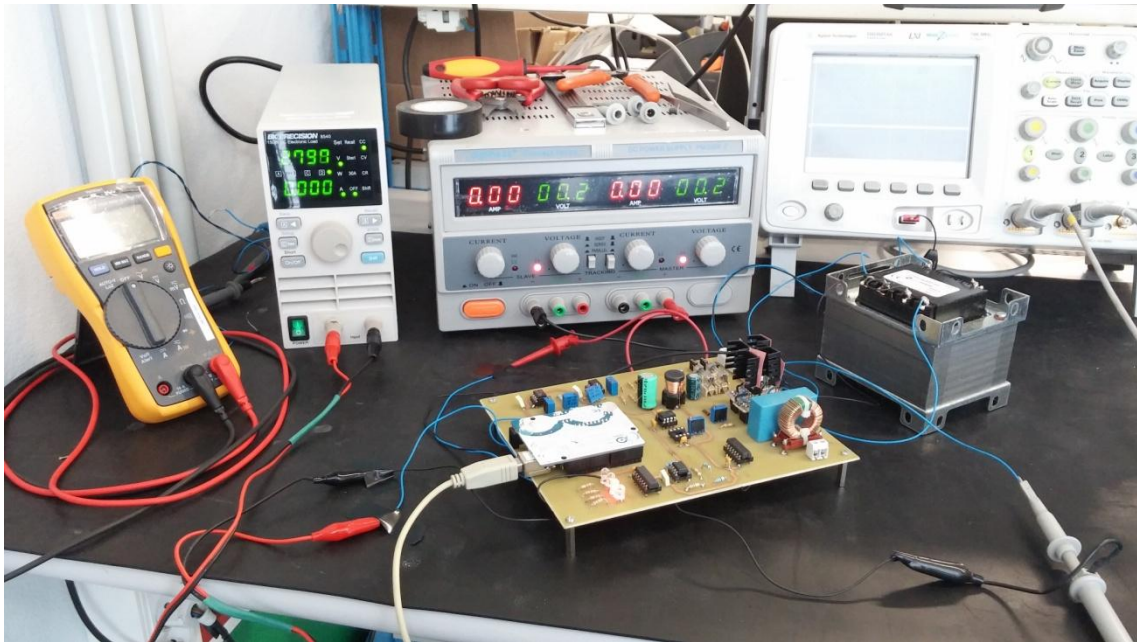


### 5.3.2. Medida de tensión de las baterías

En este apartado se muestran los resultados correspondientes a la prueba de medida de corriente.

#### 5.3.2.1. Banco de pruebas

Se montó un banco de pruebas tal y como se describe en el plan de pruebas:



**Figura 36: Banco de pruebas medida de tensión de baterías**

Los equipos utilizados son los siguientes:

- Fuente de tensión DC: Digimess Concept series PM3006-2
- Ordenador
- Osciloscopio digital: Agilent Technologies DSO5014A

Aunque en la foto del banco de pruebas aparezcan un polímetro y una carga programable, para esta prueba no se usaron.

**5.3.2.2. Desarrollo de la prueba:**

Se siguió el procedimiento marcado en el plan de pruebas, obteniendo los siguientes resultados:

LECTURA DEL ORDENADOR	LECTURA DEL OSCILOSCOPIO	DIFERENCIA	ESTADO DE LED VERDE	ESTADO DE LED ROJO	ESTADO DE LA BATERÍA	OK/FAIL
51,9	52,01	0,11	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,7	51,78	0,08	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,5	51,61	0,11	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,3	51,29	0,01	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,1	51,18	0,08	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,9	50,81	0,09	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,7	50,75	0,05	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,5	50,61	0,11	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,3	50,29	0,01	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,1	50,1	0	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49,9	49,86	0,04	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49,7	49,72	0,02	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49,4	49,58	0,18	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49,2	49,41	0,21	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49	49,05	0,05	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,8	48,71	0,09	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,6	48,58	0,02	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,4	48,48	0,08	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,2	48,18	0,02	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48	48,03	0,03	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
47,8	47,84	0,04	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
47,6	47,62	0,02	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
47,4	47,38	0,02	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
47,2	47,23	0,03	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
46,9	46,95	0,05	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
46,7	46,62	0,08	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
46,5	46,48	0,02	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
46,3	46,31	0,01	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
46,1	46,07	0,03	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
45,9	45,94	0,04	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
45,7	45,58	0,12	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK



45,5	45,45	0,05	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
45,3	45,38	0,08	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
45,1	45,17	0,07	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
44,9	44,87	0,03	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
44,7	44,61	0,09	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
45	45,23	0,23	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
45,2	45,38	0,18	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
45,4	45,49	0,09	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
45,6	45,65	0,05	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
45,8	45,78	0,02	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
46	46,09	0,09	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
46,2	46,25	0,05	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
46,4	46,41	0,01	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
46,6	46,58	0,02	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
46,8	46,75	0,05	APAGADO	LUCIENDO	DESCARGADA	OK
47	47,12	0,12	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
47,2	47,28	0,08	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
47,4	47,39	0,01	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
47,6	47,62	0,02	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
47,8	47,95	0,15	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48	48,15	0,15	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,2	48,31	0,11	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,4	48,41	0,01	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,6	48,64	0,04	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,8	48,75	0,05	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49,1	49,01	0,09	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49,4	49,35	0,05	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49,7	49,75	0,05	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50	50,12	0,12	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,3	50,26	0,04	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,6	50,54	0,06	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,9	51,02	0,12	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,2	51,32	0,12	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,5	51,54	0,04	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,8	51,87	0,07	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
52,1	52,01	0,09	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
52,4	52,47	0,07	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK



**Circuito cargador de baterías con inversor  
integrado para paneles solares de alta tensión.**

52,7	52,65	0,05	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
53	53,03	0,03	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
53,3	53,39	0,09	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
53,6	53,67	0,07	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
53,7	53,81	0,11	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
54	54,09	0,09	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
54,2	54,35	0,15	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
54,4	54,41	0,01	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
54,6	54,67	0,07	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
54,8	54,89	0,09	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
55	54,97	0,03	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
55,2	55,14	0,06	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
55,4	55,35	0,05	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
55,7	55,59	0,11	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
56,1	56,04	0,06	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
55,8	55,74	0,06	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
55,5	55,59	0,09	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
55,2	55,24	0,04	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
54,9	54,74	0,16	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
54,6	54,67	0,07	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
54,3	54,15	0,15	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
54	54,09	0,09	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
53,7	53,74	0,04	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
53,5	53,48	0,02	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
53,3	53,41	0,11	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
53,1	53	0,1	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
52,9	52,84	0,06	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
52,7	52,61	0,09	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
52,5	52,34	0,16	PARPADEANDO	APAGADO	SOBRECARGADA	OK
52,2	52,21	0,01	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,9	51,96	0,06	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,6	51,57	0,03	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51,3	51,16	0,14	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
51	50,93	0,07	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,7	50,57	0,13	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,4	50,48	0,08	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
50,1	50,1	0	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK



49,8	49,59	0,21	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49,5	49,58	0,08	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
49,2	49,14	0,06	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,9	49,01	0,11	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,6	48,61	0,01	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK
48,5	48,57	0,07	LUCIENDO	APAGADO	CARGADA	OK

**Tabla 16: Resultados medida de tensión de baterías.**

Durante el transcurso de la prueba se realizaron capturas de lo mostrado en la pantalla del ordenador y del osciloscopio.

En el osciloscopio la distribución de los canales es la siguiente:

- Canal 1 (Amarillo): V\_Bat
- Canal 2 (Verde): Led Rojo
- Canal 4 (Rosa): Led Verde

Se achaca el ruido de los canales 2 y 4 a usar una única referencia de masa en el canal 1. Por lo que para que los canales 2 y 4 lleguen a su referencia de masa deben hacer un camino más largo. Se consideró oportuno realizarlo de esta manera puesto que en la medida en la que se requiere una mayor precisión es en la medida de la tensión de baterías, puesto que los canales 2 y 4 son utilizados para medidas cualitativas.

Durante esta prueba las lecturas de corriente serán despreciables puesto que en los paneles solares no hay nada conectado y no circula corriente.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

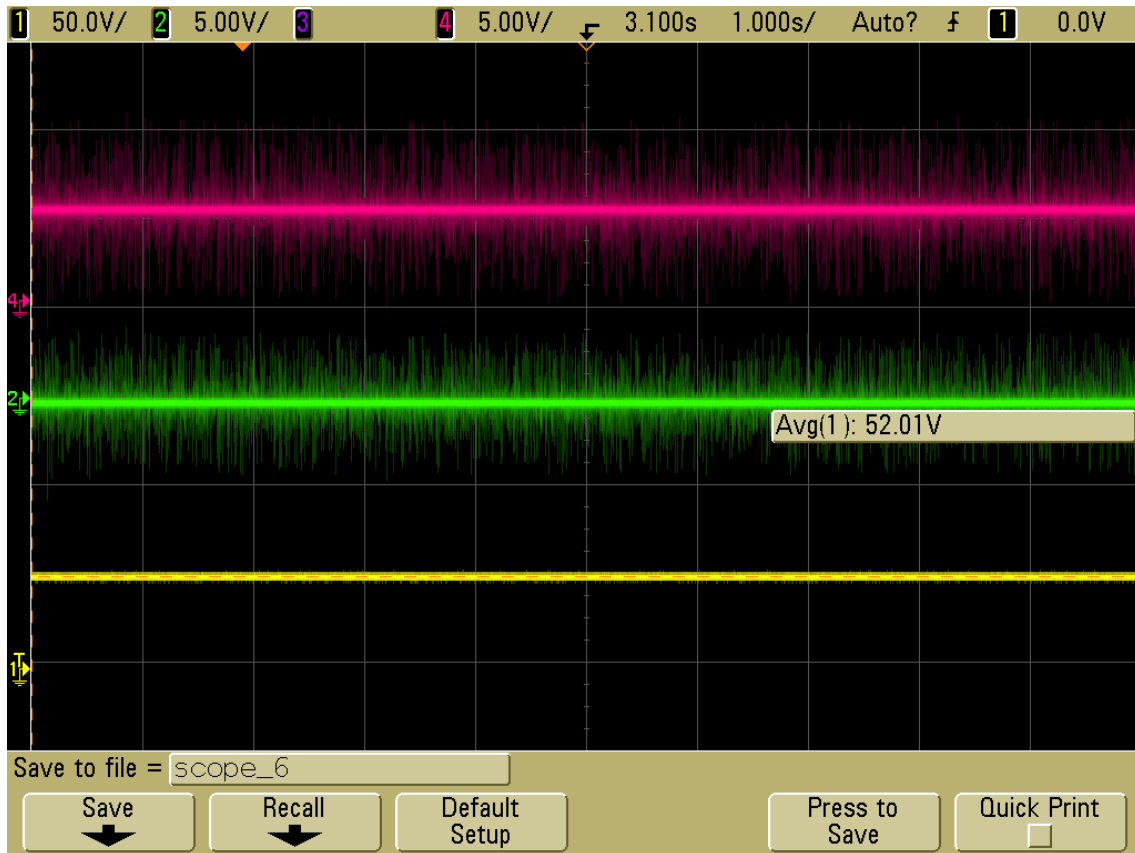


Figura 37: Captura osciloscopio estado batería CARGADA 1

```
Tension de baterias (V): 51.9
ESTADO DE BATERIA: CARGADA
Corriente de los paneles solares: DESPRECIABLE
```

Figura 38: Captura ordenador estado batería CARGADA 1

Estas capturas corresponden con la primera lectura de la tabla. Partimos de este punto, con el estado de batería CARGADA. Como podemos ver el canal 4 se encuentra a 1, lo que significa que el led verde está luciendo. Esto concuerda con la lectura de la captura de pantalla del ordenador.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

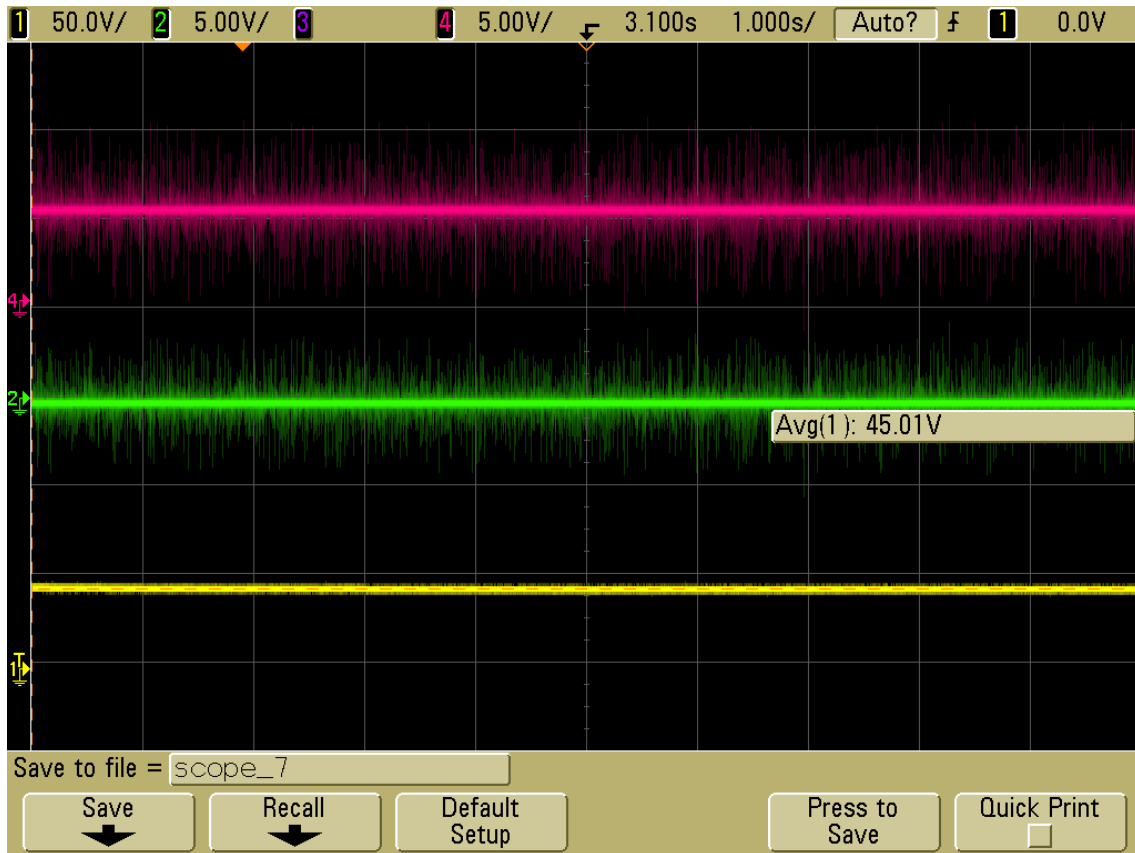


Figura 39: Captura de osciloscopio estado de batería CARGADA 2

Corriente de los paneles solares: DESPRECIABLE  
 Tension de baterias (V): 45.1  
 ESTADO DE BATERIA: CARGADA

Figura 40: Captura ordenador estado batería CARGADA 2

Estas capturas pertenecen a la primera bajada, aquí ya hemos pasado el umbral de los 47V, pero como el estado de partida de las baterías es cargadas no hay ningún cambio. Podemos ver como el canal 4 sigue a nivel alto (led verde encendido) y el 2 a nivel bajo (led rojo apagado). El estado mostrado por pantalla es CARGADA.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

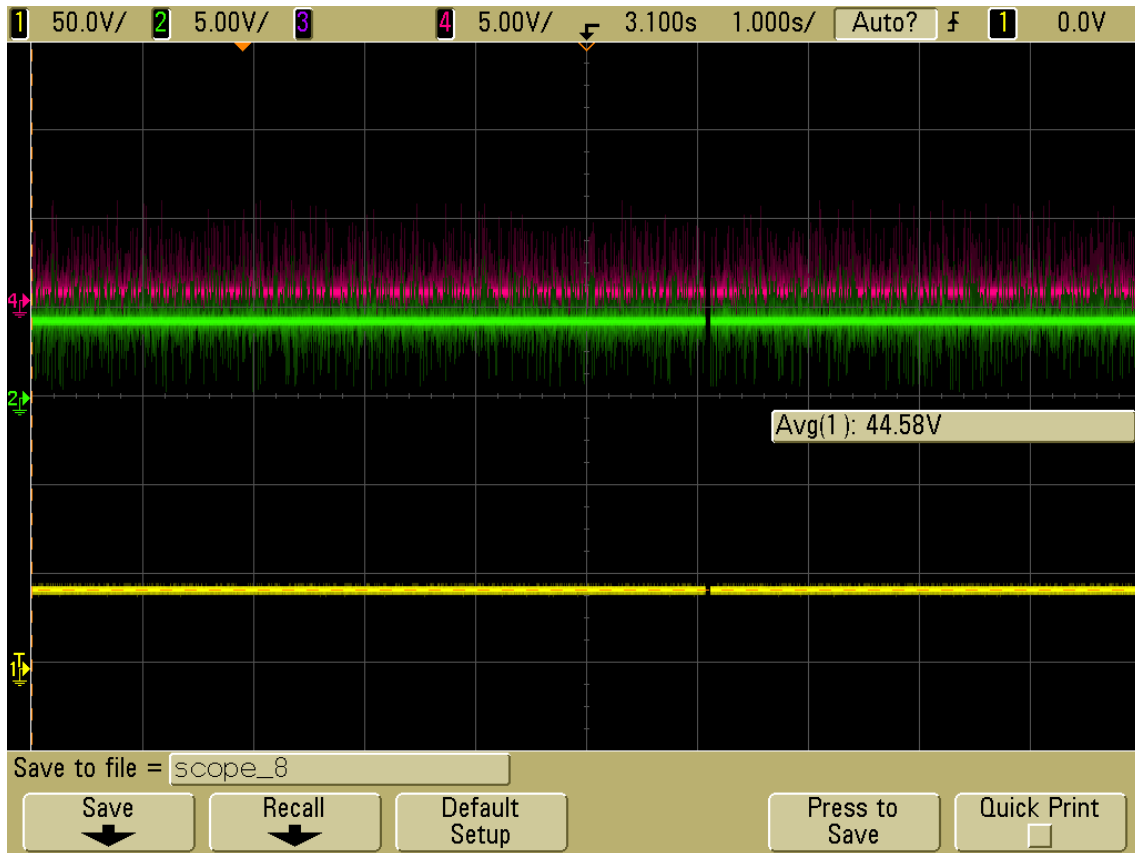


Figura 41: Captura de osciloscopio estado de batería DESCARGADA

Tension de baterias (V): 44.7

ESTADO DE BATERIA: DESCARGADA

Corriente de los paneles solares: DESPRECIABLE

Figura 42: Captura ordenador estado batería DESCARGADA

En este caso nos encontramos por debajo del umbral que hace pasar del estado batería CARGADA a DESCARGADA. El led verde en este caso se encuentra a nivel bajo mientras que el rojo se encuentra a nivel alto. Recibimos un estado de las baterías de DESCARGADA por el puerto serie.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

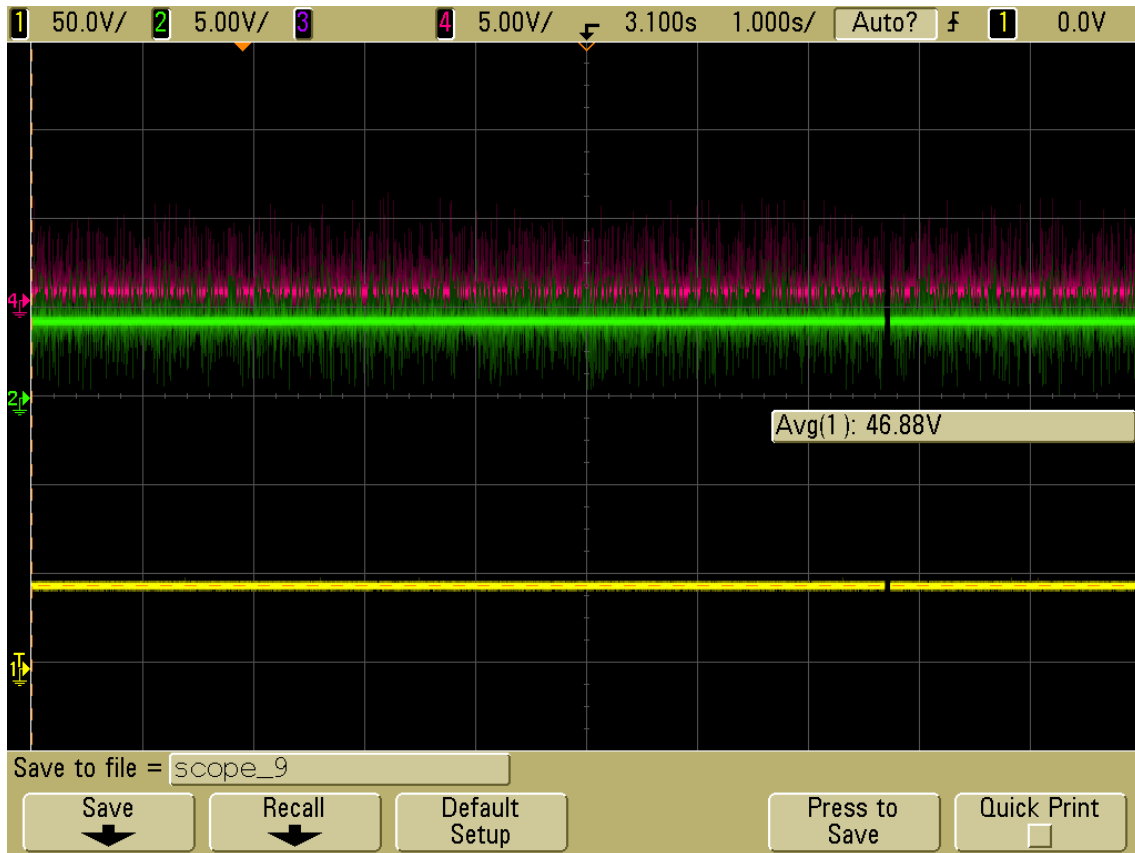


Figura 43: Captura de osciloscopio estado de batería DESCARGADA 2

```
Tension de baterias (V): 46.8
ESTADO DE BATERIA: DESCARGADA
Corriente de los paneles solares: DESPRECIABLE
```

Figura 44: Captura ordenador estado batería DESCARGADA 2

En este caso nos encontramos por encima del umbral que hace pasar del estado batería CARGADA a DESCARGADA, sin embargo, estamos por debajo del umbral que hace pasar de DESCARGADA a CARGADA. El led verde en este caso se encuentra a nivel bajo mientras que el rojo se encuentra a nivel alto. Recibimos un estado de las baterías de DESCARGADA por el puerto serie.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

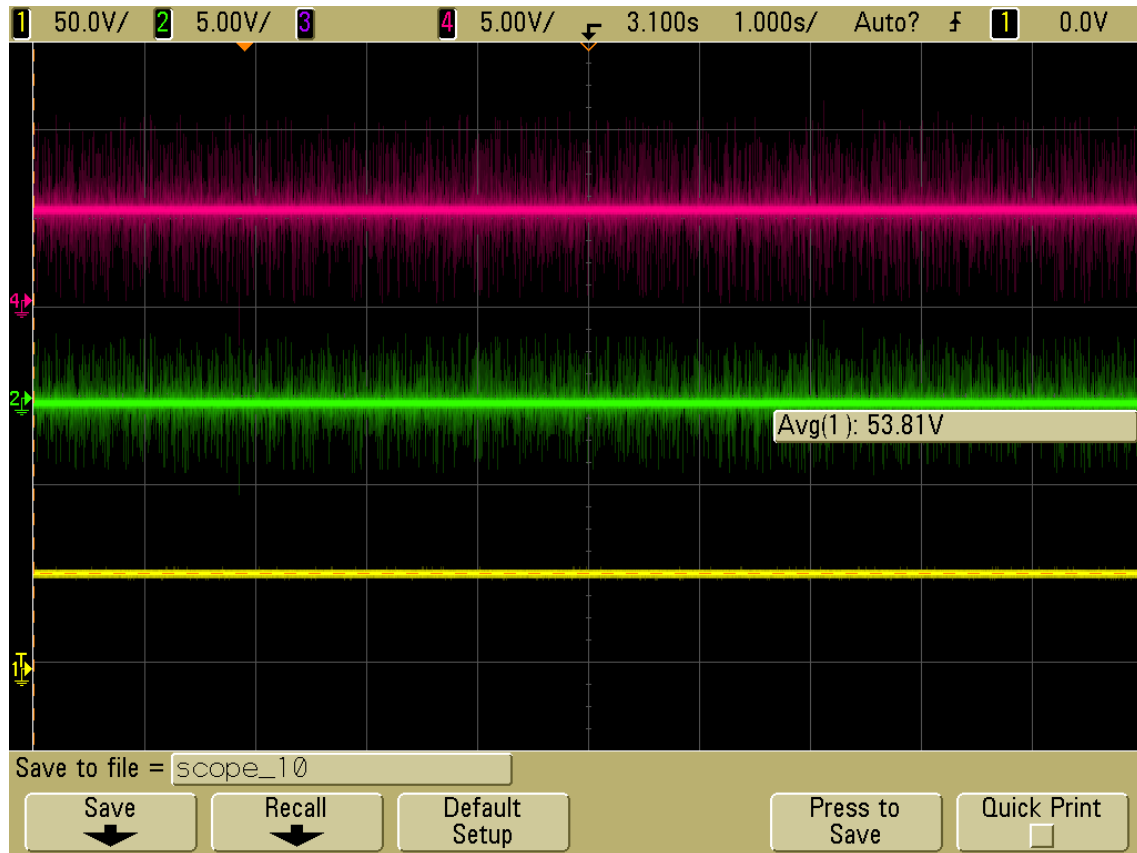


Figura 45: Captura de osciloscopio estado de batería CARGADA 3

Tension de baterias (V): 53.7  
 ESTADO DE BATERIA: CARGADA  
 Corriente de los paneles solares: DESPRECIABLE

Figura 46: Captura ordenador estado batería CARGADA 3

En este caso ya hemos pasado el umbral que nos hace pasar de DESCARGADA a CARGADA e incluso hemos sobrepasado el umbral que hace pasar de SOBRECARGADA a CARGADA, sin embargo, como el estado de partida es CARGADA no hay cambio. El canal 4 (led verde) se encuentra a nivel alto y el canal 2 (led rojo) se encuentra a nivel bajo. Se recibe un estado de batería de CARGADA.

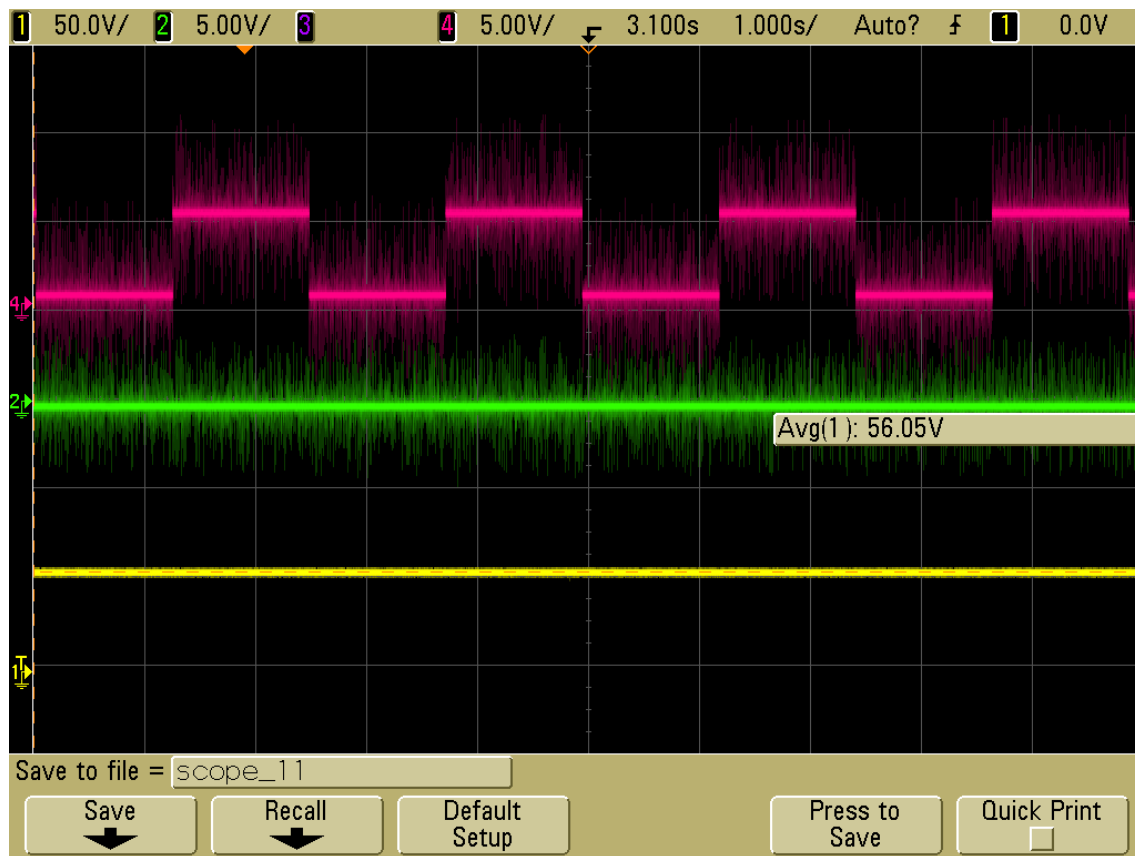


Figura 47: Captura de osciloscopio estado de batería SOBRECARGADA 1

Tension de baterias (V): 56.1  
ESTADO DE BATERIA: SOBRECARGADA

Figura 48: Captura ordenador estado batería SOBRECARGADA 1

En este caso ya hemos pasado el umbral que hace pasar de CARGADA a SOBRECARGADA. El canal 4 (led verde) alterna entre estados de nivel alto y nivel bajo, es decir, el led parpadea. El canal 2 (led rojo se encuentra a nivel bajo). Recibimos un estado de la batería de SOBRECARGADA. En este caso no hay información de la corriente de los paneles porque en el estado de baterías SOBRECARGADA los paneles solares se desconectan.



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

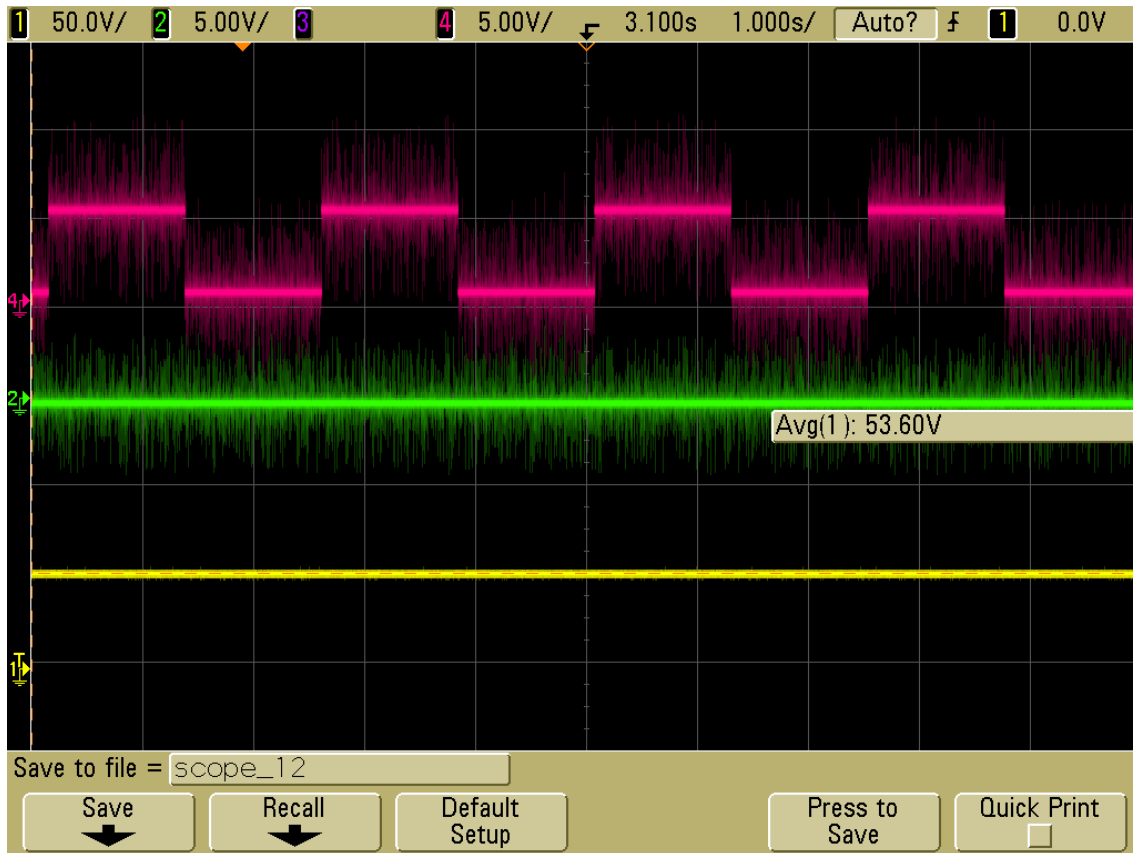


Figura 49: Captura de osciloscopio estado de batería SOBRECARGADA 2

Tension de baterias (V): 53.5  
ESTADO DE BATERIA: SOBRECARGADA

Figura 50: Captura ordenador estado batería SOBRECARGADA 2

En este caso ya hemos pasado el umbral que hace pasar de CARGADA a SOBRECARGADA, sin embargo no hemos llegado al umbral que hace pasar de SOBRECARGADA a CARGADA. El canal 4 (led verde) alterna entre estados de nivel alto y nivel bajo, es decir, el led parpadea. El canal 2 (led rojo se encuentra a nivel bajo). Recibimos un estado de la batería de SOBRECARGADA. En este caso no hay información de la corriente de los paneles porque en el estado de baterías SOBRECARGADA los paneles solares se desconectan.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

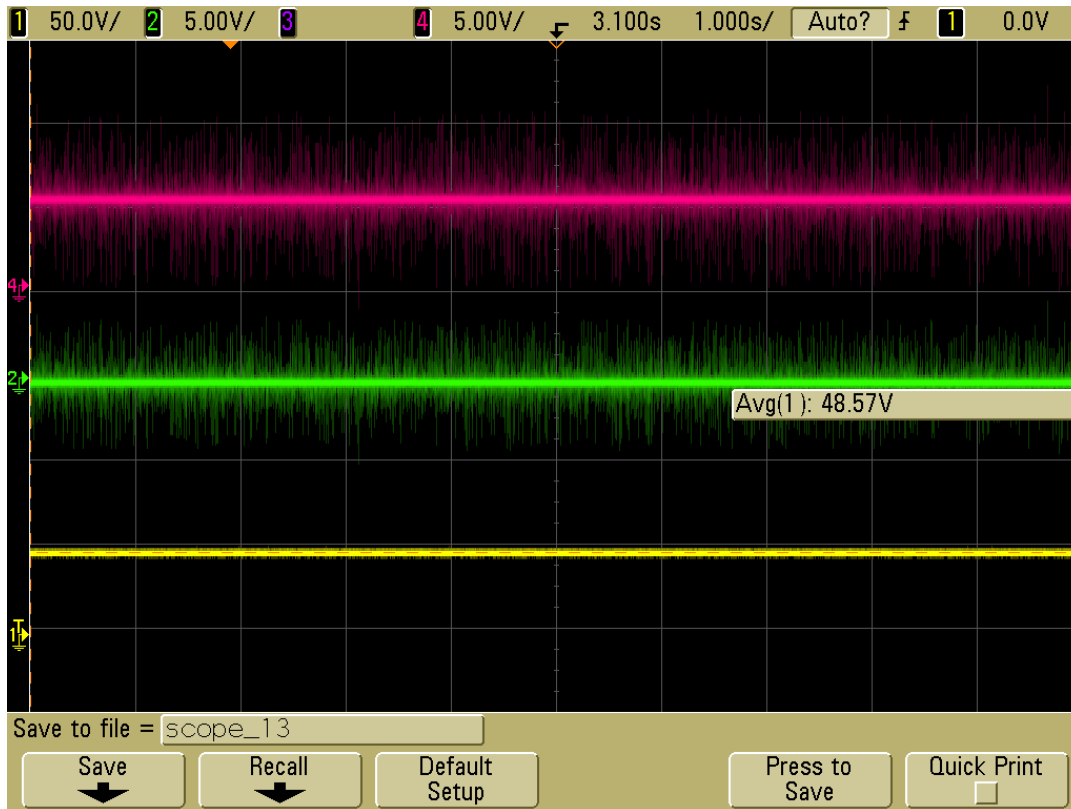


Figura 51: Captura de osciloscopio estado de batería CARGADA 4

Tension de baterias (V): 48.5  
 ESTADO DE BATERIA: CARGADA  
 Corriente de los paneles solares: DESPRECIABLE

Figura 52: Captura ordenador estado batería CARGADA 4

Nos encontramos en un Estado de Batería CARGADA ya que hemos pasado el umbral que hace pasar de SOBRECARGADA a CARGADA. En este caso el canal 4 se encuentra a nivel alto (led verde encendido) y el canal 2 a nivel bajo (led rojo apagado). Recibimos una lectura por el puerto serie de estado de batería CARGADA.

### 5.3.2.3. Conclusiones de la prueba

Según los resultados anteriormente expuestos se concluye que la prueba se ha pasado de manera satisfactoria.

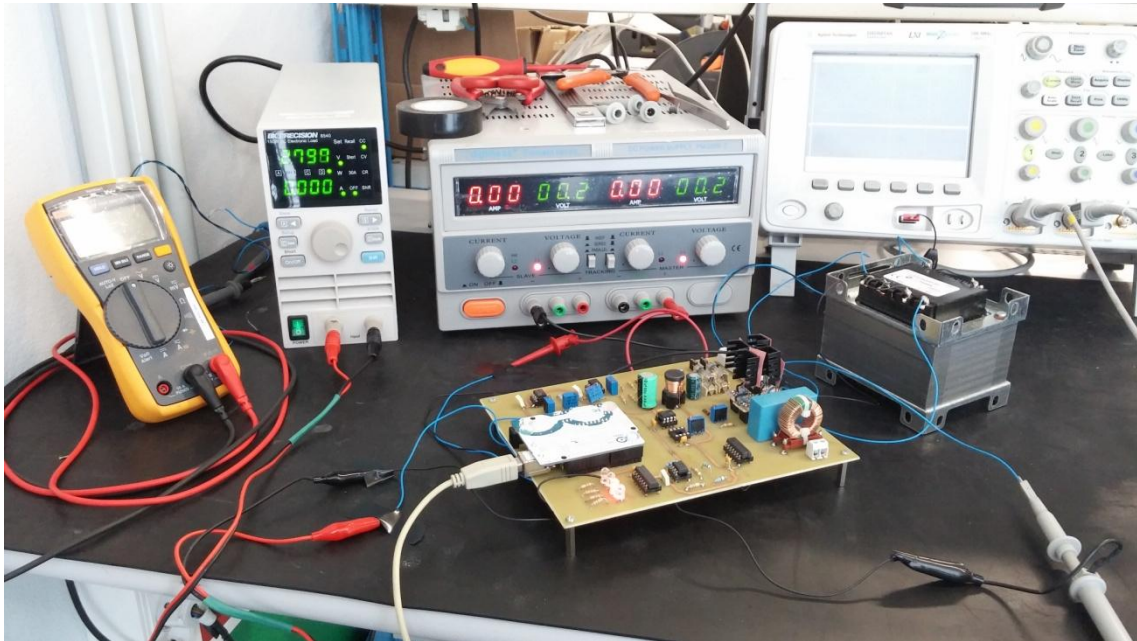
- No hay ninguna medida que difiera más de 0.3V de lo medido en el osciloscopio.
- Hay 3 valores entre 0.2 y 0.3V, que dentro de las 114 muestras son un 2.6%.
- Los leds y el estado de baterías funcionan correctamente en todos los casos.

### 5.3.3. Salida AC

En este apartado se muestran los resultados correspondientes a la prueba de salida AC

#### 5.3.3.1. Banco de pruebas

Se montó un banco de pruebas tal y como se describe en el plan de pruebas.



**Figura 53: Banco de pruebas salida AC**

Los equipos utilizados son los siguientes:

- Fuente de tensión DC: Digimess Concept series PM3006-2
- Ordenador
- Osciloscopio digital: Agilent Technologies DSO5014A
- Polímetro Fluke 115.

Aunque en la foto del banco de pruebas aparezcan un una carga programable, para esta prueba no se usó.

En esta prueba es en la única en la que influye el transformador. Por no disponer del transformador especificado en el diseño se tuvo que usar otro. En concreto el CFCTS200-50U de PRO POWER. La única diferencia de este transformador con el especificado es que la tensión nominal de los bobinados secundarios es de 50V. Esto afecta a nuestra prueba, será difícil alcanzar la tensión de salida de 220Vac. Por ello se ha realizado una modificación en el



programa de manera que en lugar de mantener una tensión entre 220-230Vac, se mantendrá una tensión entre 180-190Vac.

#### 5.3.3.2. Desarrollo de la prueba

Se siguió el procedimiento marcado en el plan de pruebas, obteniendo los siguientes resultados, dividiremos el desarrollo en dos partes como se indica en el plan de pruebas. Para la primera parte se obtuvieron los siguientes resultados. Para esta parte se eligieron tres tensiones y se tomaron capturas del osciloscopio y el polímetro:

TENSIÓN DE ENTRADA (V)	LECTURA DEL POLÍMETRO (Vac)	¿CAMBIO DE ANCHO DE PULSO APRECIABLE?	OK/FAIL
47.71 V	186.6	SI	OK
52.48V	188.4	SI	OK
56.56V	182.9	SI	OK

**Tabla 17: Resultados salida AC**

Para el osciloscopio se utilizaron tres canales, que muestran las siguientes señales:

- Canal 1 (Amarillo): Monitoriza la tensión de entrada de las baterías, simulada por la fuente de tensión.
- Canal 2 (Verde): Señal de control de los conmutadores del ciclo positivo.
- Canal 4 (Rosa): Señal de control de los conmutadores del ciclo negativo.

A continuación presentamos las salidas del osciloscopio y del polímetro:

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

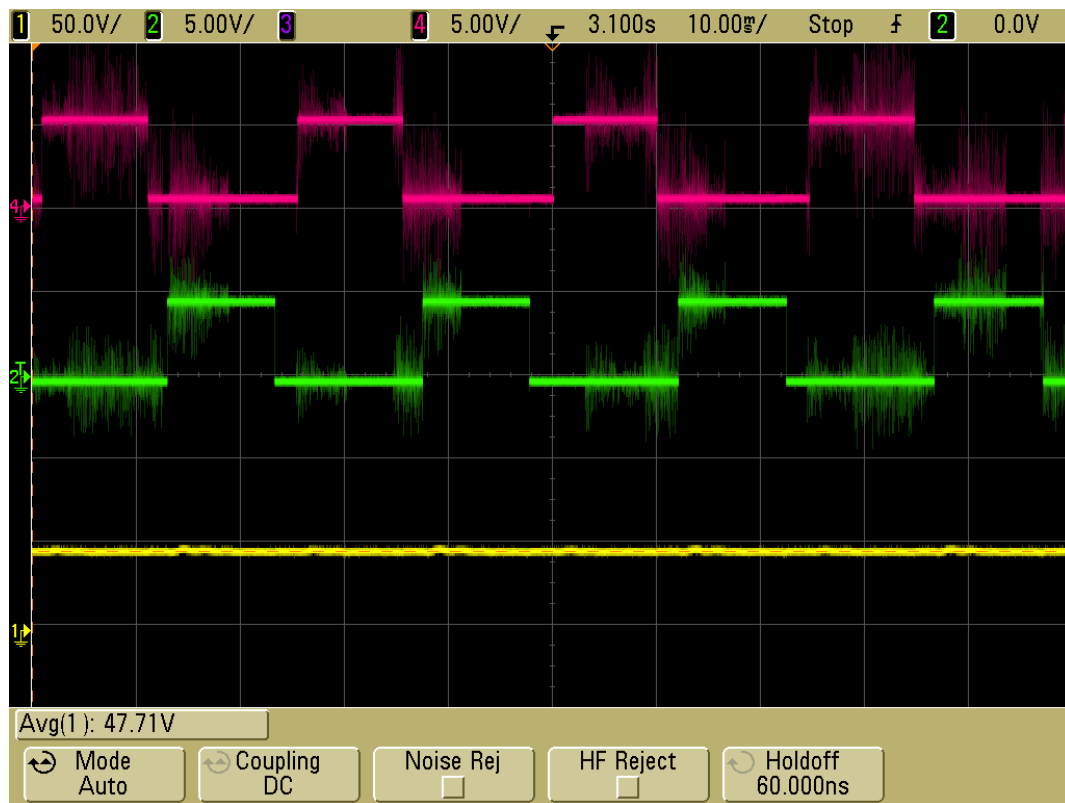


Figura 54: Captura de osciloscopio salida AC 1



Figura 55: Captura polímetro salida AC

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

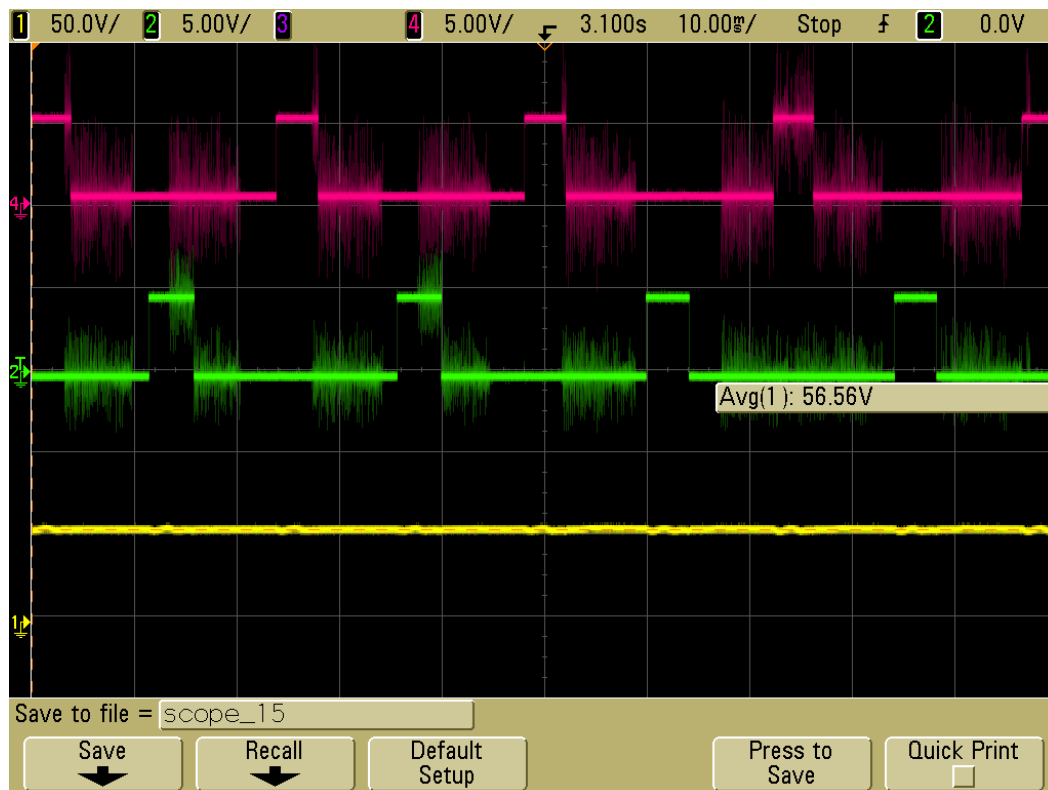


Figura 56: Captura de osciloscopio salida AC 2

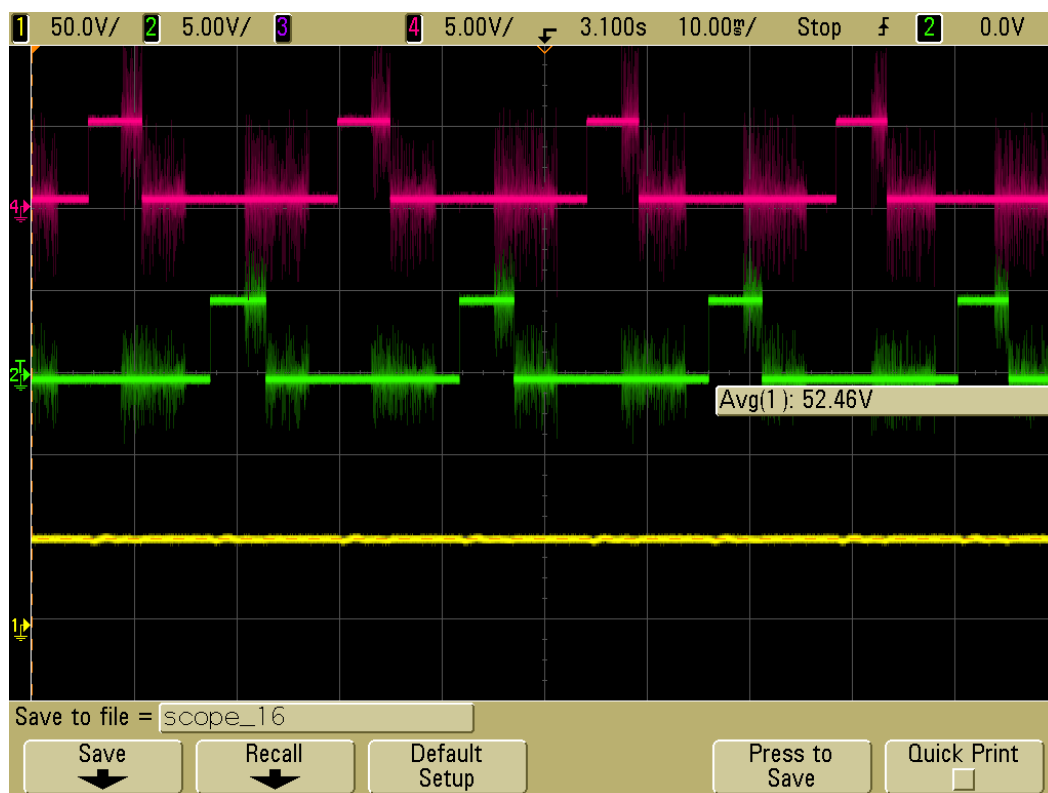


Figura 57: Captura de osciloscopio salida AC 3



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

Como podemos observar el ancho de pulso de las señales de control se modifica de manera significativa para mantener la tensión de salida constante.

La segunda parte de la prueba consistía en conectar la salida a un flexo y encender el flexo para comprobar que lucía, a su vez se saca una captura de la forma de salida de la onda de la salida.

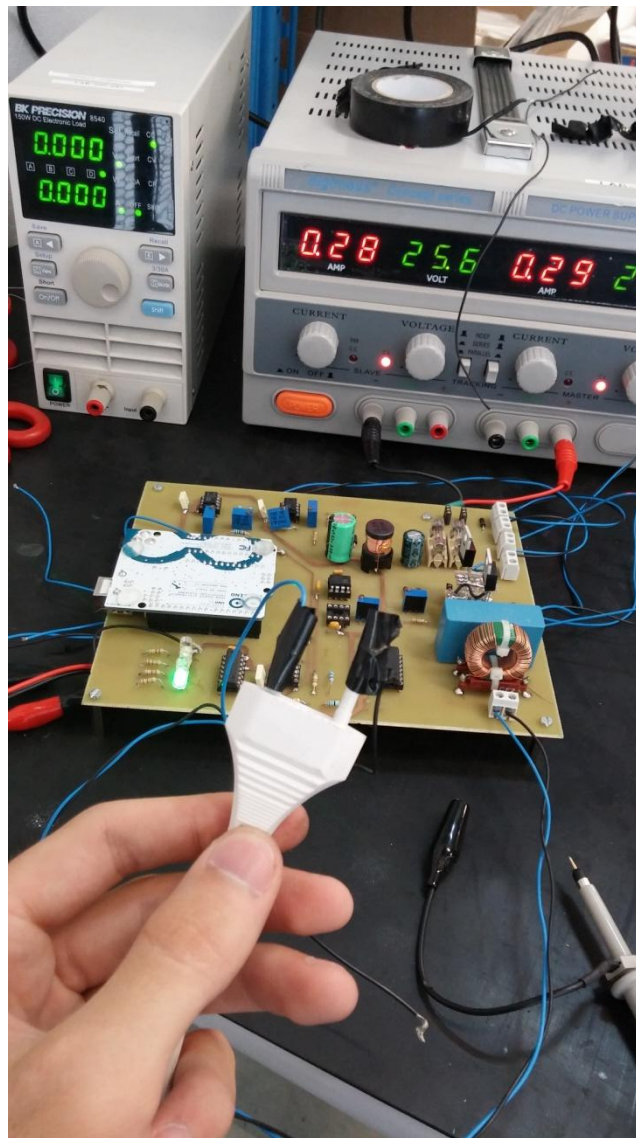


Figura 58: Salida AC conectada al enchufe del flexo.

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

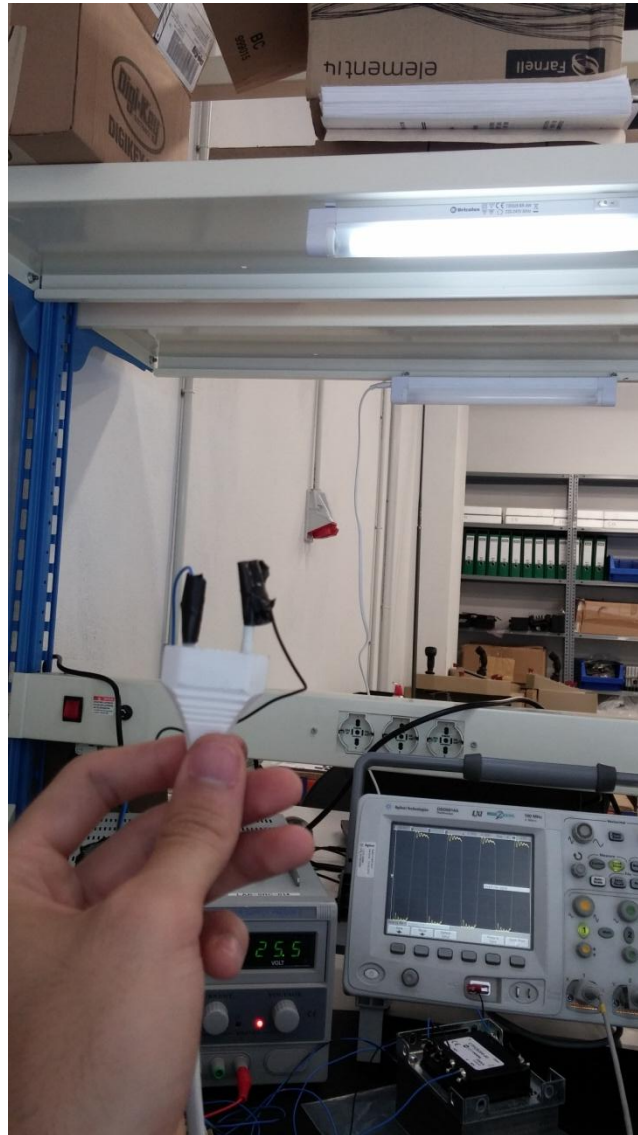


Figura 59: Flexo luciendo

Como podemos comprobar en las fotos, cuando se conecta el flexo a la salida y se enciende (con el interruptor de flexo), este luce.



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

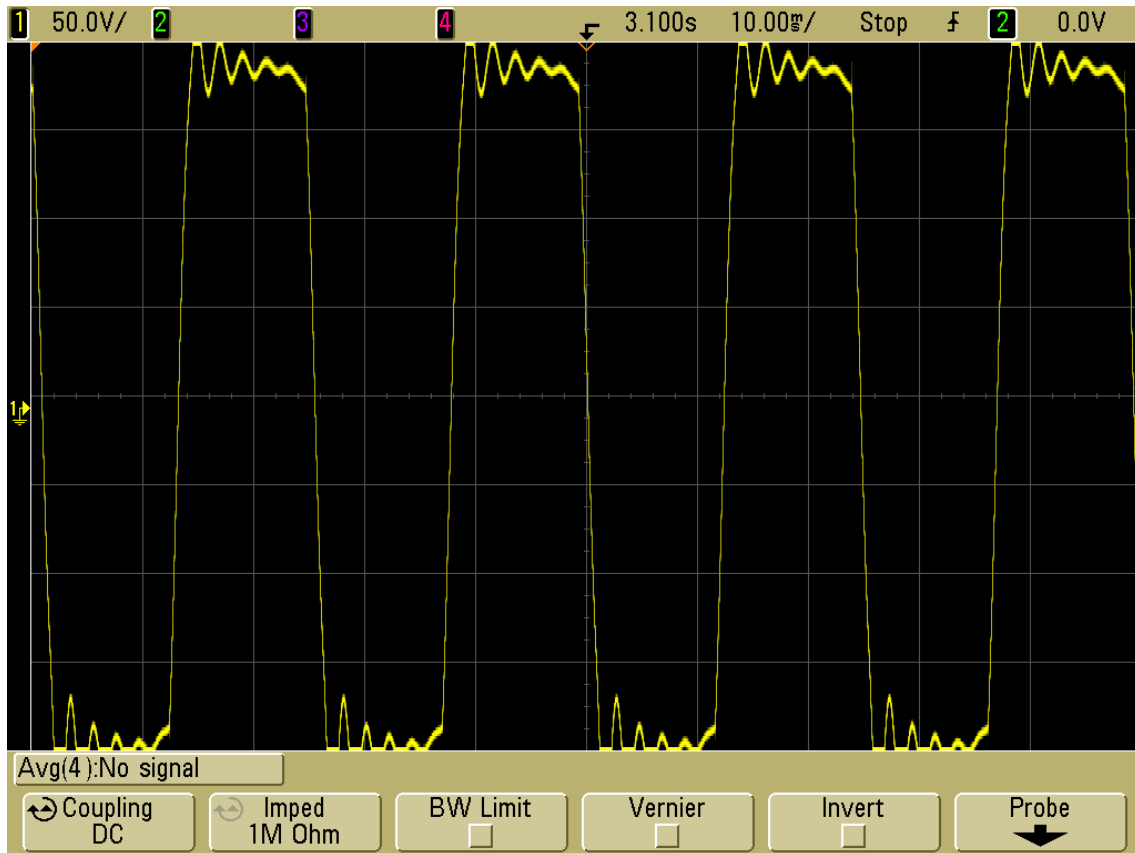


Figura 60: Captura de osciloscopio tensión de salida AC

En esta gráfica podemos observar la tensión de la salida AC. No se puede apreciar el valor de pico puesto que el osciloscopio ya se encuentra al máximo del fondo de escala y aún así, la señal lo supera. Tiene sentido ya que 180Vac corresponden a 254 V de pico y el osciloscopio sólo puede medir hasta 200.

La frecuencia no es exactamente 50 Hz. Achacamos esto a que la CPU no es capaz de procesar todo el programa lo suficientemente rápido y por tanto, tarda un tiempo más que hace que la frecuencia sea algo menor de 50Hz.

### 5.3.3.3. Conclusiones de la prueba

Se da la prueba por satisfactoria con una incidencia. La salida se maneja entre los datos esperados y se aprecia como la CPU regula los anchos de pulso de las señales de control de los conmutadores de manera adecuada. El único dato malo es el obtenido por la frecuencia que no es exactamente 50Hz, aunque el valor no difiera en gran medida.



# CAPÍTULO 6

## PLANIFICACIÓN

---



En este apartado incluiremos la planificación del presente proyecto, incluyendo la subdivisión en tareas y el diagrama de Gantt. Se toma como fecha de comienzo del proyecto el miércoles 1 de marzo de 2015. Se asigna como único recurso al autor del proyecto y se configura un tiempo de trabajo de 8 horas a la semana.

Nº TAREA	NOMBRE DE LA TAREA	DURACIÓN	COMIENZO	FINAL	TAREAS PREDECESORAS	RECURSO
1	Tareas previas	1 day	Mon 02/03/15	Thu 05/03/15		
2	Estudio del arte	12 hrs	Mon 02/03/15	Thu 05/03/15		Manuel Convalia
3	Diseño del sistema	13,88 days	Fri 06/03/15	Thu 11/06/15		
4	Diseño conceptual	8 hrs	Fri 06/03/15	Tue 10/03/15	1	Manuel Convalia
5	Evaluación de requisitos	12 hrs	Tue 10/03/15	Mon 16/03/15	4	Manuel Convalia
6	Elección de componentes	8 hrs	Mon 16/03/15	Thu 19/03/15	5	Manuel Convalia
7	Documentación asociada a fase	12 hrs	Wed 06/05/15	Thu 11/06/15	6	Manuel Convalia
8	Diseño de Hardware	2,25 days	Thu 19/03/15	Fri 03/04/15		
9	Diseño del circuito principal	6 hrs	Tue 24/03/15	Wed 25/03/15	6	Manuel Convalia
10	Diseño de circuitos de medida	8 hrs	Thu 19/03/15	Mon 23/03/15	6	Manuel Convalia
11	Diseño de circuito CPU	4 hrs	Thu 26/03/15	Fri 27/03/15	6	Manuel Convalia
12	Diseño de circuitos accesorios	4 hrs	Fri 27/03/15	Mon 30/03/15	6	Manuel Convalia
13	Documentación asociada a fase	12 hrs	Mon 30/03/15	Fri 03/04/15	9;10;11;12	Manuel Convalia
14	Diseño de software	9 days	Fri 17/04/15	Mon 22/06/15		



15	Arquitectura Software	15 hrs	Fri 17/04/15	Fri 24/04/15	5	Manuel Convalia
16	Implementación SW	24 hrs	Fri 24/04/15	Wed 06/05/15	15	Manuel Convalia
17	Documentación asociada a fase	12 hrs	Tue 16/06/15	Mon 22/06/15	16	Manuel Convalia
<b>18</b>	<b>Construcción y pruebas</b>	<b>10,25 days</b>	<b>Fri 03/04/15</b>	<b>Tue 16/06/15</b>		
<b>19</b>	<b>Fabricación prototipo</b>	<b>5,75 days</b>	<b>Fri 03/04/15</b>	<b>Wed 13/05/15</b>		
20	Rutado PCB	30 hrs	Fri 03/04/15	Fri 17/04/15	8	Manuel Convalia
21	Fabricación PCB	24 hrs	Mon 20/04/15	Thu 07/05/15	20	Técnicos Tecnología Electrónica
22	Montaje PCB	12 hrs	Fri 08/05/15	Wed 13/05/15	21	Manuel Convalia
23	Pruebas y modificaciones	36 hrs	Thu 14/05/15	Fri 29/05/15	15;22	Manuel Convalia
24	Documentación de las modificaciones	4 hrs	Mon 01/06/15	Tue 02/06/15	23	Manuel Convalia
<b>25</b>	<b>Fase de pruebas</b>	<b>2 days</b>	<b>Tue 02/06/15</b>	<b>Tue 16/06/15</b>		
26	Elaboración plan de pruebas	6 hrs	Tue 02/06/15	Thu 04/06/15	24	Manuel Convalia
27	Pruebas	8 hrs	Thu 04/06/15	Mon 08/06/15	26	Manuel Convalia
28	Documentación asociada a fase	8 hrs	Thu 11/06/15	Tue 16/06/15	27	Manuel Convalia
29	Documentación final	16 hrs	Mon 22/06/15	Mon 29/06/15	7;13;17;23;28	Manuel Convalia

Tabla 18: Índice de tareas

## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

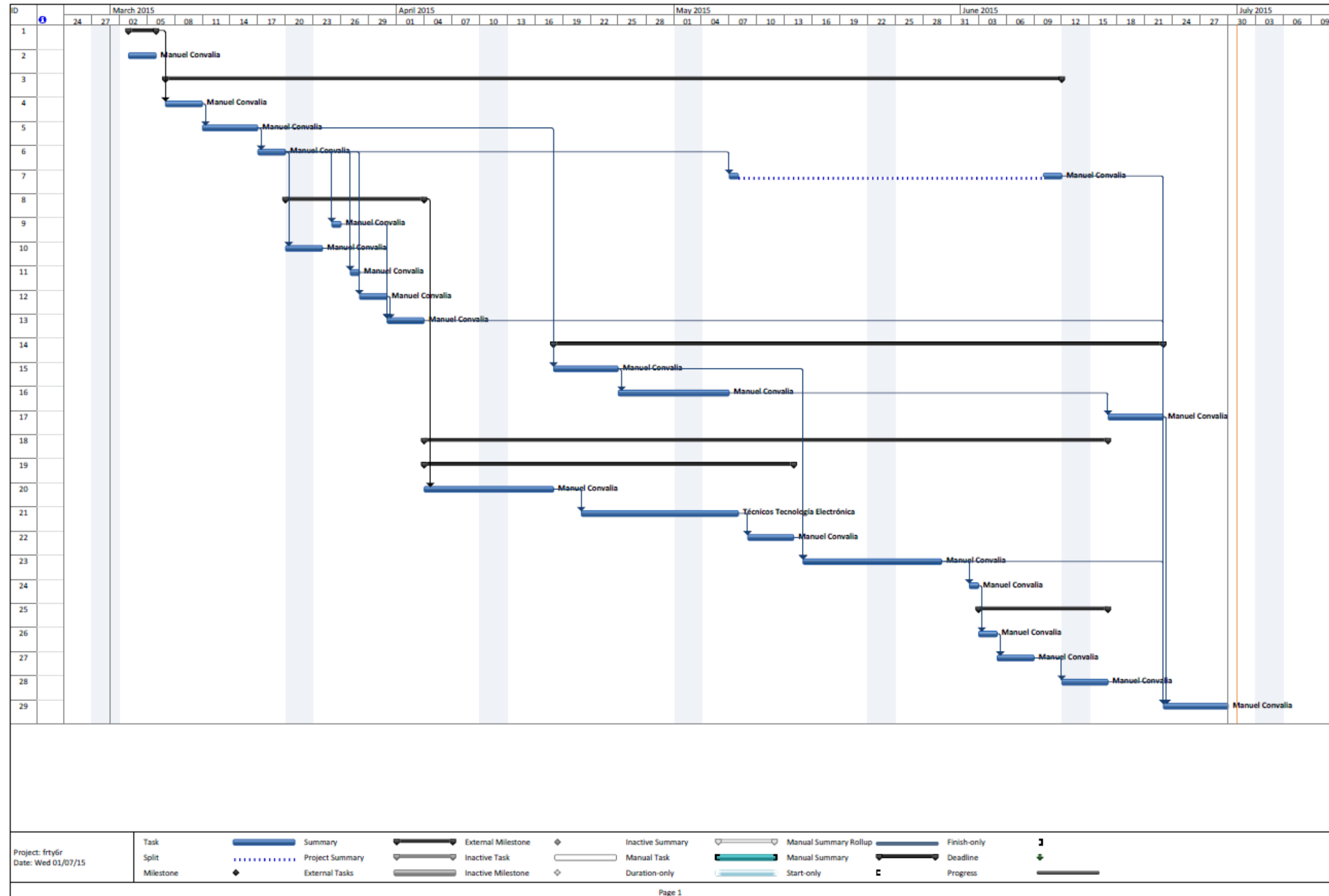


Figura 61: Diagrama de Gant



# CAPÍTULO 7

## ESTUDIO ECONÓMICO

---

**Circuito cargador de baterías con inversor  
integrado para paneles solares de alta tensión.**

En este apartado se presentan los costes del proyecto. Presentaremos los costes en dos partes, costes de material (fabricación del prototipo) y costes de personal. Para la elaboración de los costes se suponen todos los equipos utilizados ya amortizados, por lo que estos equipos no influirán en la elaboración de los costes.

RECURSO	HORAS	PRECIO HORA (€/H)	COSTE (€)
Manuel Convalia	257	40	10280
Técnicos área de tecnología electrónica	3 <sup>(1)</sup>	35	105
<b>COSTE PERSONAL TOTAL (€)</b>			10385

Tabla 19: Costes de personal

- (1) En la planificación se ha estimado 3 días de trabajo, porque es el impacto que tiene en la planificación ya que es lo que se tarda en fabricar. Sin embargo a la hora de analizar los costes se tiene en cuenta que el tiempo efectivo dedicado son 3 horas.

En los costes de material se han añadido los materiales de mayor importancia y se ha incluido los de menor importancia en la misma línea.

COMPONENTE	CANTIDAD	COSTE UNITARIO (€/UD)	COSTE
AD620	4	8,45	33,8
IRF530	2	1,9	3,8
Arduino UNO	1	23,09	23,09
G5LE-14 DC5	1	1,49	1,49
68-4	1	94,48	94,48
TL2575-HV	1	3,25	3,25
Ref03	1	3,14	3,14
Resto del circuito	N/A	N/A	32,49
Placa fotosensible doble cara	37500 mm <sup>2</sup>	0,0003315 €/mm <sup>2</sup>	12,43125
<b>Total constes material (€)</b>			207,97125

Tabla 20: Costes de materiales

**Circuito cargador de baterías con inversor  
integrado para paneles solares de alta tensión.**

A continuación se presentan los costes totales.

<b>COSTE</b>	<b>COSTE (€)</b>
Costes de personal	10385
Costes de materiales	207,97125
<b>COSTE TOTAL (€)</b>	<b>10592.97125</b>

Tabla 21: Costes totales





## CAPÍTULO 8

# CONCLUSIONES

---



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

Se ha conseguido una PCB capaz de gestionar los recursos necesarios para la recolección de energía de paneles solares y su posterior transformación a energía capaz de ser volcada a la red eléctrica o para su uso con dispositivos comerciales a nivel local.

La PCB gestiona de la manera deseada el nivel, carga y descarga de las baterías, mide la corriente de entrada en las baterías de la manera requerida y mantiene la salida en los niveles de tensión deseados.

Además, se han implementado dos interfaces para la recolección de información por parte de los usuarios. Se puede conocer a simple vista el estado de las baterías, si la salida se encuentra habilitada y si las baterías están cargando a simple vista mediante los LED. Y se puede obtener información más precisa conectando un ordenador con un cable USB.

Durante el desarrollo del proyecto se tuvieron que realizar varias modificaciones sobre el diseño inicial que no afectaron a la funcionalidad requerida. Sin embargo, se tuvo que tomar una solución de compromiso sacrificando una de las funcionalidades para no tener que realizar un cambio que hubiese retrasado en gran medida el proyecto. Se sacrificó la medida de la corriente de salida.

Un posterior análisis reveló que la razón por la que se tuvo que modificar la funcionalidad fue porque la CPU no era capaz de mantener la ejecución en tiempo real con la carga computacional que suponía el programa implementado. Razón por la que, para futuras versiones habrá que solucionar dicho problema. Las soluciones propuestas son:

- Cambio de CPU: se cambiaría la CPU por una más potente. Esta CPU podría ser de Arduino (Arduino DUE o Arduino MEGA), lo que no implicaría un cambio en el programa, únicamente se debería modificar la huella de la PCB y refrabricarla. Otra opción es cambiar completamente de microprocesador, se podría elegir uno con arquitectura ARM (STMicroelectronics, por ejemplo).
- Programación fuera del sketch de Arduino: Como ya se comentó en su momento. El sketch de arduino se ejecuta sobre C++, sin embargo, este sketch tiene la desventaja de que las funciones implementadas en sus librerías son poco eficientes. Por lo que



## Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

podría valer con cambiar únicamente el programa. Los arduino también se pueden programar en C++ sin necesidad de usar el sketch de Arduino.

Como hemos podido ver durante las pruebas realizadas en algunas señales hay mucho ruido, esto puede llegar a ser un problema para las medidas de señales analógicas. En nuestra placa tenemos tanto señales analógicas como digitales, las señales digitales (y más si son de alta potencia, como en nuestro caso) pueden llegar a afectar de manera significativa a las analógicas. Para solucionar esto se propone un grounding o una configuración de masas estrelladas más efectiva que lo que está implementado. Para ello, y si no se quiere aumentar de manera significativa el tamaño de la placa, se deberá realizar el rutado en más de dos capas.

También se podría mejorar la eficiencia del sistema. Si se implementase un algoritmo para la inyección de la onda en el transformador de manera que alejase los armónicos de la frecuencia principal se perdería mucha menos energía en el sistema y se conseguiría una mayor eficiencia.

Recordar que se ha llevado a cabo la construcción de un prototipo funcional y que el diseño no se encuentra validado por completo. Se sabe que el diseño funciona en unas condiciones muy controladas. Para poder validar el diseño y proceder a su industrialización se deberían realizar ensayos de estrés, ambientales y de durabilidad.



# BIBLIOGRAFÍA

---



**Circuito cargador de baterías con inversor  
integrado para paneles solares de alta tensión.**

<http://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

<http://erenovable.com/>

<http://www.isolari.es/>

<http://www.sitiosolar.com/>

<https://www.technologyreview.es/articulo/40356/tr10-energia-solar-ultraeficiente/>

<http://www.hormigasolar.com/>

[http://www.technologyreview.es/printer\\_friendly\\_article.aspx?id=35936](http://www.technologyreview.es/printer_friendly_article.aspx?id=35936)

<http://www.distribucionessolares.es/>



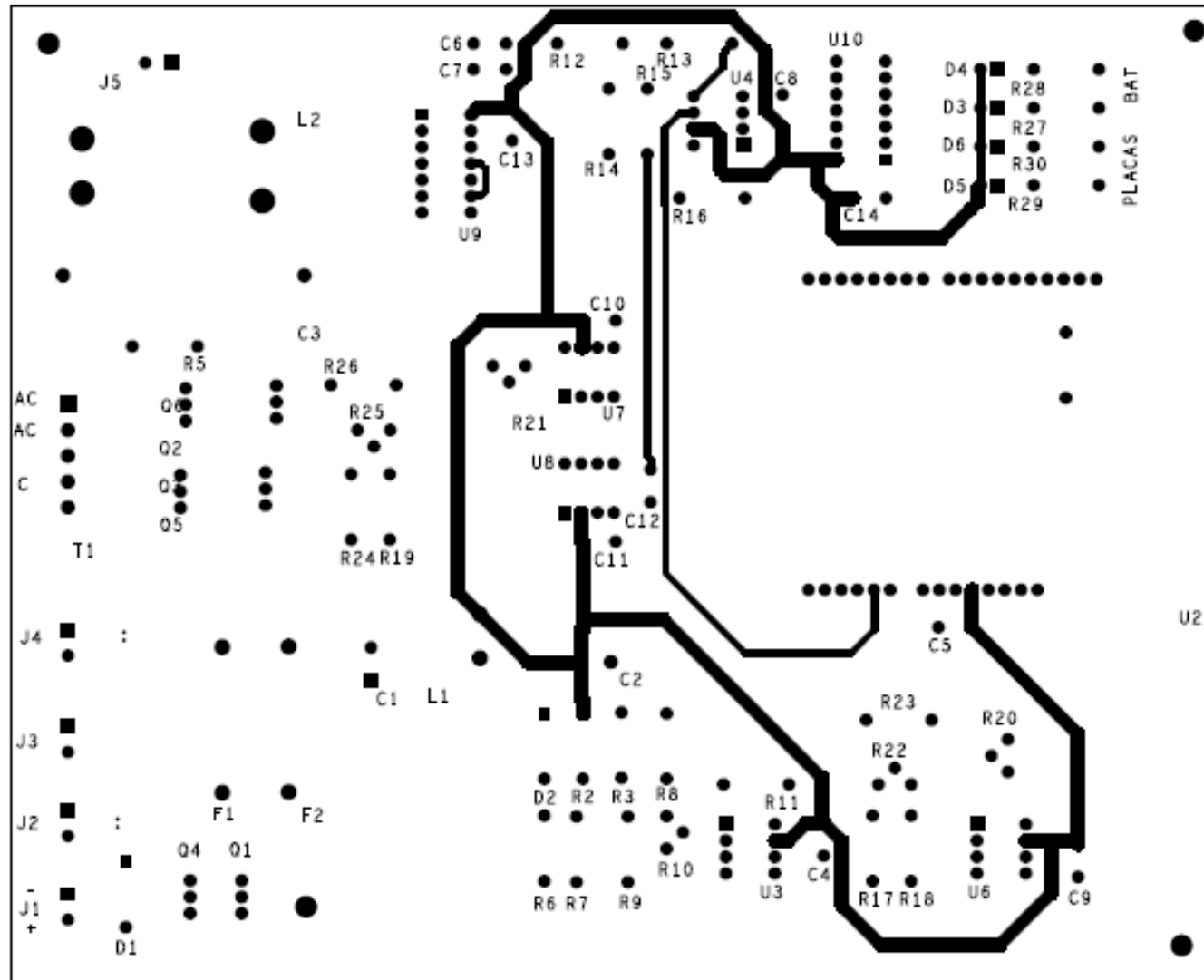
# **ANEXO I**

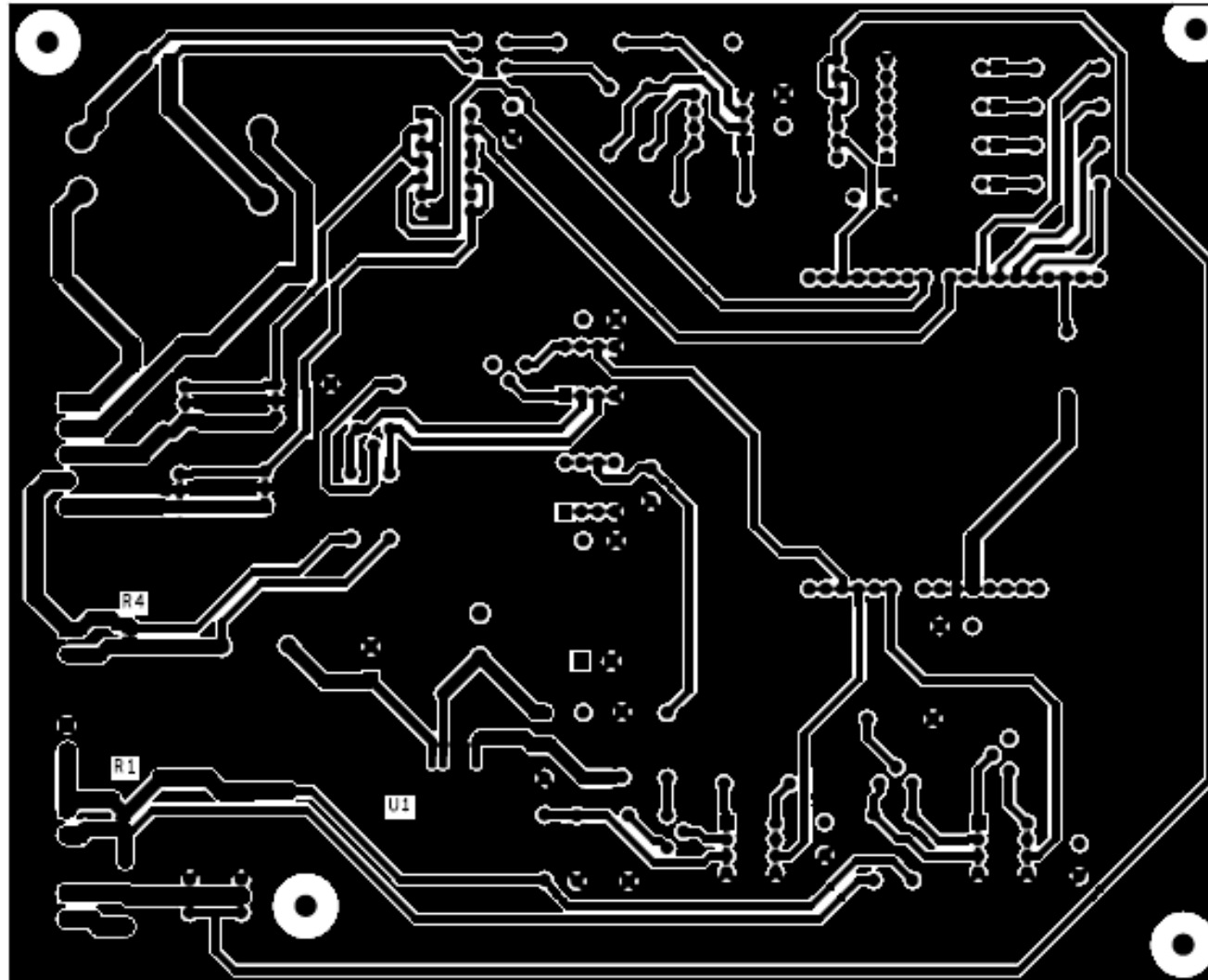
## **GERBER DE**

## **FABRICACIÓN TOP Y**

## **BOTTOM**

---









# **ANEXO II**

## **PROGRAMA SOFTWARE**

### **COMPLETO**

---



### Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

```
//PINES ASIGNADOS A ENTRADAS ANALÓGICAS
#define pin_vbat 2 //Pin analógico en el que medimos el estad
#define pin_Salida_AC 1 // Pin analógico en el que medimos la
#define pin_corriente_placas 4// Pin analógico en el que medi
//PINES ASIGNADOS A SALIDAS DIGITALES
//LEDS para el estado de baterías y la conexión o desconexió
#define Led_Bat_Conectada 5
#define Led_Bat_Desconectada 3
//LEDS asignados a como cargan las baterías (mostramos la cor
#define Led_Carga_Bat 4
#define Led_No_Carga_Bat 13
//Salidas digitales que controlan la conexión/desconexión de
#define Ciclo_Pos 8
#define Ciclo_Neg 7
//Salida que controla la conexión/desconexión de los paneles
#define Placas_Conectadas 2
//CONSTANTES DE PROGRAMA
#define Pulso_max 85 //Anchura máxima de pulso (ciclo positiv
#define Intervalo_Pulso 1 //Constante de la etapa de control
/*Umbrales entre los que la salida AC es válida*/
#define AC_sup 270
#define AC_inf 275
#define MUESTRAS 20//Número de muestras de la salida por cicl
/*Umbrales de la corriente de entrada de las baterías*/
#define Corriente_placas_baja 775
#define Corriente_placas_alta 810
/*Umbrales para discernir si las baterías se encuentran carga
Se implementa un modelo con histéresis*/
#define Umbral_Descargada 44.9
#define Umbral_Bateria_OK_Inf 47
#define Umbral_Sobrecarga 55.1
#define Umbral_Bateria_OK_Sup 52
//Valores asignados a los diferentes estados de corriente
#define DESPRECIABLE 0
#define NORMAL 1
#define ALTA 2
//Valores asignados a los diferentes estados de la batería
#define DESCARGADA 0
#define CARGADA 1
#define SOBRECARGADA 2
//Constantes temporales del programa
#define Tiempo_Bateria 1 //Tiempo en segundos entre medidas d
#define Tiempo_LED 1 //Periodo de parpadeo de los LED en caso
#define Tiempo_corriente_placas 1// Tiempo en segundos entre
//VARIABLES DE PROGRAMA
int Estado_Bateria= CARGADA; // Variable donde se almacena el
// Puede tener los valores: CARG
boolean LED_On= false; // Variable utilizada para gestionar
```



### Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

```
int Pulso=50; // Variable que indica la anchura de pulso de
// Unicamente puede tener valores pares y entr
int Valores_AC [MUESTRAS]; //Array de valores donde se almace
int CorrientePlacas=DESPRECIABLE; //Variable donde se almacen
//Contadores de ciclos de ejecución de loop usados para los d
long contador_Bateria=10000*Tiempo_Bateria;
int contador_LED= Tiempo_LED*10000;
int contador_Salida= 0;
int contador_AD=0;
int contador_medida=0;
int contador_corriente_placas=10000*Tiempo_corriente_placas;
unsigned long tiempo; // Tiempo es usada para controlar que l
// INICIALIZACIÓN DE PUERTOS DE SALIDA Y COMUNICACIÓN SERIE.
void setup ()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode (Led_Bat_Conectada, OUTPUT);
  pinMode (Led_Bat_Desconectada, OUTPUT);
  pinMode (Led_Carga_Bat, OUTPUT);
  pinMode (Led_No_Carga_Bat, OUTPUT);
  pinMode (Ciclo_Pos, OUTPUT);
  pinMode (Ciclo_Neg, OUTPUT);
  pinMode (Placas_Conectadas, OUTPUT);
  tiempo=micros();
}
// CUERPO PRINCIPAL DE PROGRAMA
void loop () {
  if(micros()-tiempo>=100){
    tiempo=micros();
    //GESTIÓN TENSIÓN BATERÍAS
    if (contador_Bateria>= 10000*Tiempo_Bateria){
      Estado_Bateria= nivel_bateria (analogRead (pin_vbat), Estad
      contador_Bateria=0;
    }
    // SI LAS BATERÍAS ESTÁN SOBRECARGADAS SE DESCONECTAN LOS PAN
    if (Estado_Bateria==SOBRECARGADA) digitalWrite(Placas_Conecta
    else digitalWrite(Placas_Conectadas, LOW);
    //MEDIDA DE LA CORRIENTE DE LOS PANELES SOLARES
    if(contador_corriente_placas>=10000*Tiempo_corriente_placas)
    if(Estado_Bateria==SOBRECARGADA){
      CorrientePlacas=DESPRECIABLE;
    }
    else {
      CorrientePlacas= corriente_placas();
    }
    contador_corriente_placas=0;
  }
  // GESTIÓN DE LOS LED
```



### Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

```
if(contador_LED>=Tiempo_LED*10000){
LED_On= LED (Estado_Bateria, LED_On, CorrientePlacas);
contador_LED=0;
}
//GESTIÓN DE LA SALIDA
contador_Salida= Salida ( Estado_Bateria, contador_Salida, Pu
//ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA SALIDA
if (contador_AD>=10){
Valores_AC[contador_medida]= abs(512-analogRead(pin_Salida_
contador_AD=0;
if(contador_medida>=MUESTRAS){
contador_medida=0;
Pulso=Control (V_eficaz(Valores_AC), Pulso);
}
contador_medida++;
}
//RESET DE CONTADOR SALIDA
if (contador_Salida>=200){
contador_Salida=0;
}
//INCREMENTO DE LOS CONTADORES DEL CICLO DE PROGRAMA
contador_AD++;
contador_Bateria++;
contador_LED++;
contador_corriente_placas++;
}
}
/* nivel_bateria: Lee el nivel de baterías y gestiona el ciclo
de
Tiene 3 posibles salidas CARGADA, DESCARGADA y
int nivel_bateria (int vbat_AD, int estado){
float vbat;
vbat= 0.00488*vbat_AD;
vbat= 4.05*vbat+40.7;
Serial.print ("Tension de baterias (V): ");
Serial.println (vbat, 1);
switch (estado){
case CARGADA:
if (vbat<= Umbral_Descargada){
Serial.print("ESTADO DE BATERIA: DESCARGADA \n");
return DESCARGADA;
}
else if (vbat >=Umbral_Sobrecarga){
Serial.print("ESTADO DE BATERIA: SOBRECARGADA \n");
return SOBRECARGADA;
}
else{
Serial.print("ESTADO DE BATERIA: CARGADA\n");
```



### Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

```
return CARGADA;
}
case DESCARGADA:
if (vbat >=Umbral_Bateria_OK_Inf){
Serial.print("ESTADO DE BATERIA: CARGADA\n");
return CARGADA;
}
else {
Serial.print("ESTADO DE BATERIA: DESCARGADA\n");
return DESCARGADA;
}
case SOBRECARGADA:
if (vbat<= Umbral_Bateria_OK_Sup){
Serial.print("ESTADO DE BATERIA: CARGADA\n");
return CARGADA;
}
else {
Serial.print("ESTADO DE BATERIA: SOBRECARGADA\n");
return SOBRECARGADA;
}
}
}
/* LED: Gestiona el encendido de los LED*/
boolean LED ( int estado, boolean LED_blink, int corrienteP){
switch (estado){
case CARGADA:
digitalWrite (Led_Bat_Conectada, HIGH);
digitalWrite (Led_Bat_Desconectada, LOW);
break;
case DESCARGADA:
digitalWrite (Led_Bat_Conectada, LOW);
digitalWrite (Led_Bat_Desconectada, HIGH);
break;
case SOBRECARGADA:
if (LED_blink== false){
digitalWrite (Led_Bat_Conectada, LOW);
digitalWrite (Led_Bat_Desconectada, LOW);
}
if (LED_blink== true){
digitalWrite (Led_Bat_Conectada, HIGH);
digitalWrite (Led_Bat_Desconectada, LOW);
}
break;
}
switch (corrienteP){
case NORMAL:
digitalWrite (Led_Carga_Bat, HIGH);
break;
```



### Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

```
case DESPRECIABLE:
digitalWrite (Led_Carga_Bat, LOW);
break;
case ALTA:
if (LED_blink== false){
digitalWrite (Led_Carga_Bat, LOW);
}
if (LED_blink== true){
digitalWrite (Led_Carga_Bat, HIGH);
}
break;
}
if (LED_blink==true) return false;
else return true;
}
/* Salida: Gestiona las salidas Ciclo_Pos y Ciclo_Neg*/
int Salida ( int estado, int cuenta, int ciclo, int cont_AD){
if (ciclo>88) ciclo=Pulso_max;
if (estado== DESCARGADA){
digitalWrite (Ciclo_Pos, LOW);
digitalWrite (Ciclo_Neg, LOW);
cont_AD=0;
return 0;
}
else{
if (cuenta<=ciclo){
digitalWrite (Ciclo_Neg, LOW);
digitalWrite (Ciclo_Pos, HIGH);
}
else digitalWrite (Ciclo_Pos, LOW);
if ((cuenta<= 100+ciclo)&&(cuenta>100)){
digitalWrite (Ciclo_Pos, LOW);
digitalWrite (Ciclo_Neg, HIGH);
}
else digitalWrite (Ciclo_Neg, LOW);
return cuenta+1;
}
}
/* V_eficaz: Calcula la media de los valores obtenidos a la
salid
int V_eficaz (int valores[MUESTRAS]){
int i, sum=0;
sum=0;
for (i=0; i<=MUESTRAS;i++){
sum=sum+valores[i];
}
return sum/MUESTRAS;
}
```



### Circuito cargador de baterías con inversor integrado para paneles solares de alta tensión.

```
/*Control: Ciclo de control de la salida AC*/
int Control (int valor, int ancho){
if (valor<=AC_inf) {
if ((ancho+Intervalo_Pulso)>=Pulso_max){
return Pulso_max;
}
else {
return ancho+Intervalo_Pulso;
}
}
if (valor>=AC_sup) return ancho-Intervalo_Pulso;
}
/*corriente_placas: Mide la corriente de entrada de las
baterías
int corriente_placas (){
int corriente;
corriente=analogRead(pin_corriente_placas);
Serial.print ("Corriente de los paneles solares: ");
if (corriente<=Corriente_placas_baja){
Serial.print ("DESPRECIABLE \n");
return 0;
}
else if (corriente>=Corriente_placas_alta){
Serial.print ("ALTA \n");
return 2;
}
else {
Serial.print ("NORMAL \n");
return 1;
}
}
```



# **ANEXO III**

# **DATASHEETS**

---



International  
**IOR** Rectifier

11DQ05  
11DQ06

SCHOTTKY RECTIFIER

1.1 Amp

#### Major Ratings and Characteristics

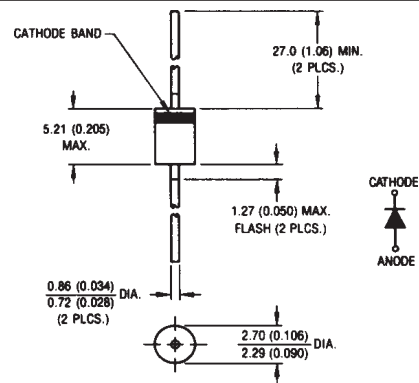
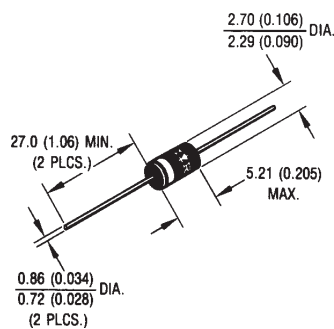
Characteristics	Values	Units
$I_{F(AV)}$ Rectangular waveform	1.1	A
$V_{RRM}$	50/60	V
$I_{FSM}$ @ $t_p = 5 \mu s$ sine	150	A
$V_F$ @ 1 Apk, $T_J = 125^\circ C$	0.53	V
$T_J$ range	-40 to 150	$^\circ C$

#### Description/ Features

The 11DQ.. axial leaded Schottky rectifier has been optimized for very low forward voltage drop, with moderate leakage. Typical applications are in switching power supplies, converters, free-wheeling diodes, and reverse battery protection.

- Low profile, axial leaded outline
- High purity, high temperature epoxy encapsulation for enhanced mechanical strength and moisture resistance
- Very low forward voltage drop
- High frequency operation
- Guard ring for enhanced ruggedness and long term reliability
- Lead-Free plating

#### CASE STYLE AND DIMENSIONS



Conform to JEDEC Outline DO-204AL (DO-41)  
Dimensions in millimeters and inches

### FEATURES

#### Easy to use

Gain set with one external resistor  
(Gain range 1 to 10,000)

Wide power supply range ( $\pm 2.3$  V to  $\pm 18$  V)

Higher performance than 3 op amp IA designs

Available in 8-lead DIP and SOIC packaging

Low power, 1.3 mA max supply current

#### Excellent dc performance (B grade)

50  $\mu$ V max, input offset voltage

0.6  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C max, input offset drift

1.0 nA max, input bias current

100 dB min common-mode rejection ratio ( $G = 10$ )

#### Low noise

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  @ 1 kHz, input voltage noise

0.28  $\mu$ V p-p noise (0.1 Hz to 10 Hz)

#### Excellent ac specifications

120 kHz bandwidth ( $G = 100$ )

15  $\mu$ s settling time to 0.01%

### APPLICATIONS

Weigh scales

ECG and medical instrumentation

Transducer interface

Data acquisition systems

Industrial process controls

Battery-powered and portable equipment

### CONNECTION DIAGRAM

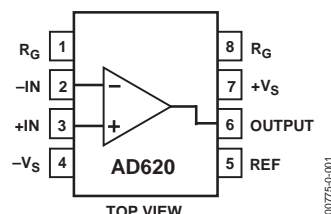


Figure 1. 8-Lead PDIP (N), CERDIP (Q), and SOIC (R) Packages

### PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to 10,000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery-powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50  $\mu$ V max, and offset drift of 0.6  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces.

Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications, such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$  at 1 kHz, 0.28  $\mu$ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, and 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$  input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15  $\mu$ s to 0.01%, and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

Table 1. Next Generation Upgrades for AD620

Part	Comment
AD8221	Better specs at lower price
AD8222	Dual channel or differential out
AD8226	Low power, wide input range
AD8220	JFET input
AD8228	Best gain accuracy
AD8295	+2 precision op amps or differential out
AD8429	Ultra low noise

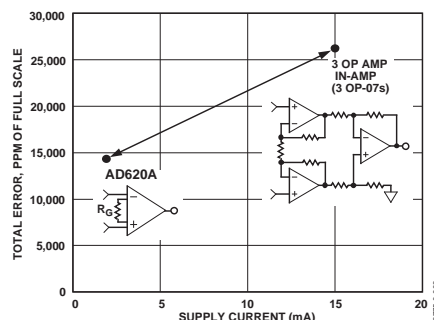


Figure 2. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

#### Rev. H

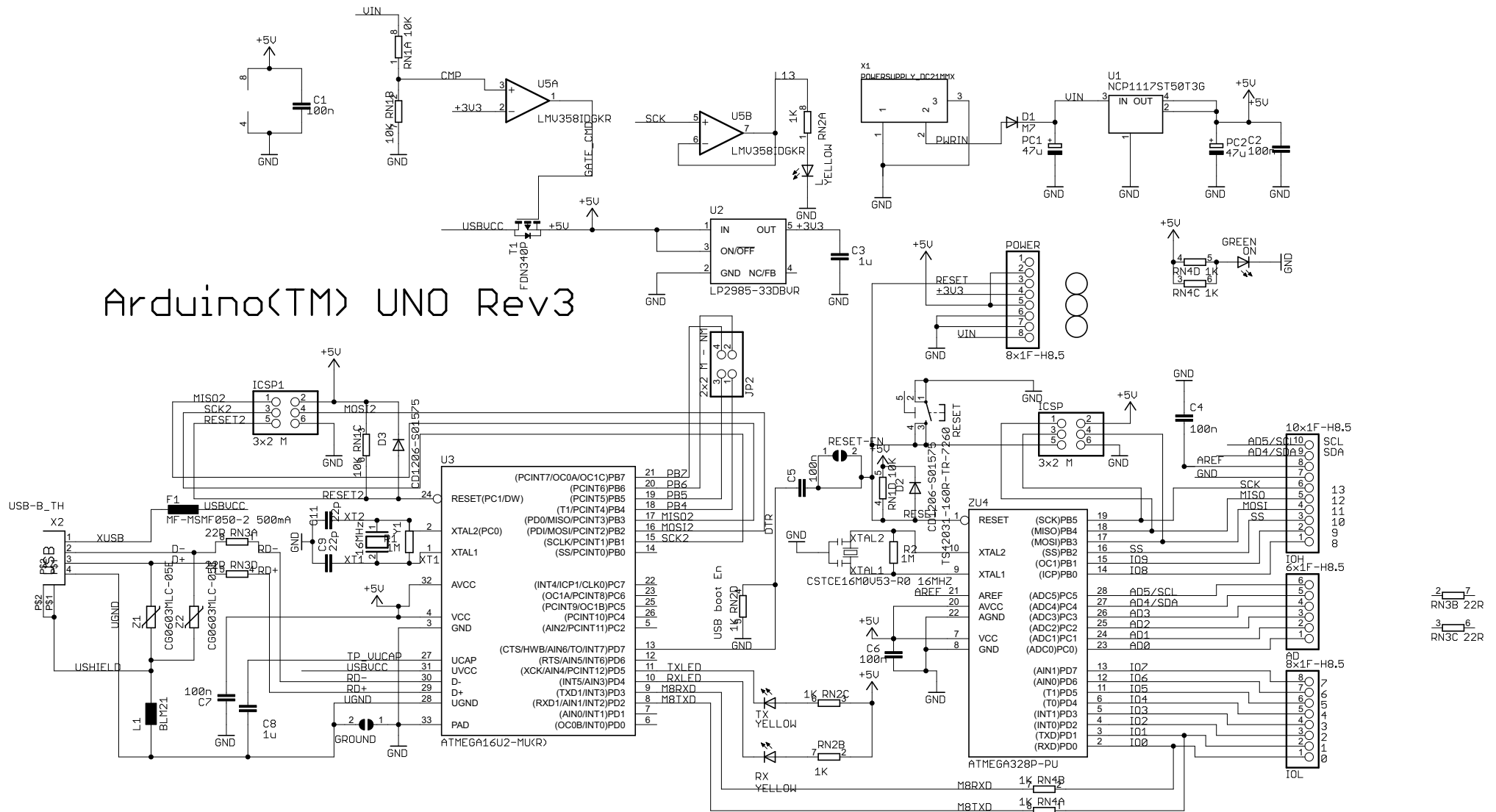
Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.

Tel: 781.329.4700

[www.analog.com](http://www.analog.com)

Fax: 781.326.8703 © 2003–2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

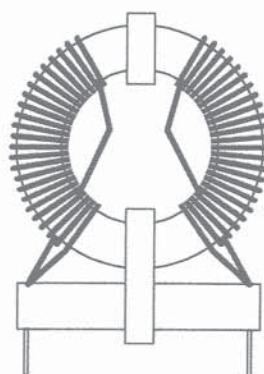
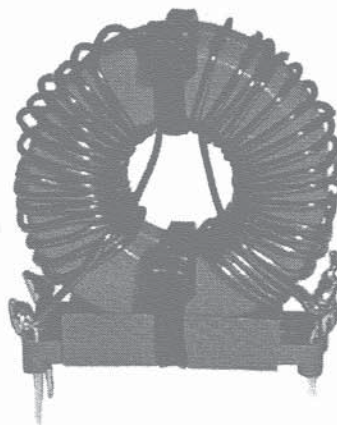


Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS. Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.

ARDUINO is a registered trademark.

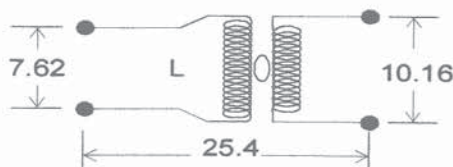
Use of the ARDUINO name must be compliant with <http://www.arduino.cc/en/Main/Policy>

These Open Former Common Mode Suppression Chokes, are specifically designed to attenuate mains borne RF interference. Constructed using a double wound ferrite ring mounted vertically onto a flame retardant plastic carrier. High attenuation to unwanted RFI can be achieved by the addition of X2 and Y capacitors.



CHARACTERISTICS	
Voltage Range :	250 VAC
Live Frequency :	50 / 60Hz
Inductance Tolerance :	± 20%
Test Voltage	2.5k V.A.C
Winding to Winding :	
Temperature Range :	-25°C to 85°C
Temperature Rise @	
Rated Current :	30°C

PCB Drilling Detail



PART No.	AMP	INDUCTANCE	D.C. RESISTANCE (mΩ)
CF1	1	18 mH	640
CF2	2	7.5 mH	160
CF3	3	3.2 mH	71
CF4	4	2.4 mH	40
CF5	6	1.4 mH	19
CF6	8	0.9 mH	9.6

Sales Office Tel : (01495) 307070

Fax : (01495) 306965

**LCR**  
Capacitors





# +2.5V Precision Voltage Reference

## REF-03

### FEATURES

- +2.5 Volt Output .....  $\pm 0.6\%$  Max
- Wide Input Voltage Range ..... 4.5V to 33V
- Supply Current ..... 1.4mA Max
- Output Voltage Tempco ..... 50ppm/°C Max
- Line Regulation ..... 50ppm/V Max
- Load Regulation ..... 100ppm/mA Max
- Extended Industrial Temp Range ..... -40°C to +85°C
- Low Cost
- Available in Die Form

### ORDERING INFORMATION†

PLASTIC PACKAGE	OPERATING TEMPERATURE RANGE
REF03GP	XIND
REF03GS††	XIND

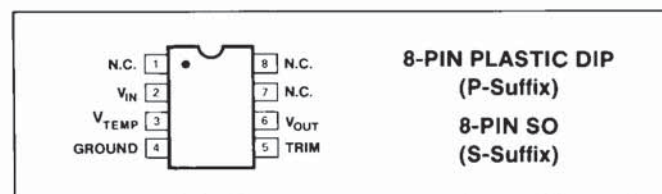
† Burn-in is available on commercial and industrial temperature range parts in plastic DIP.

†† For availability and burn-in information on SO and PLCC packages, contact your local sales office.

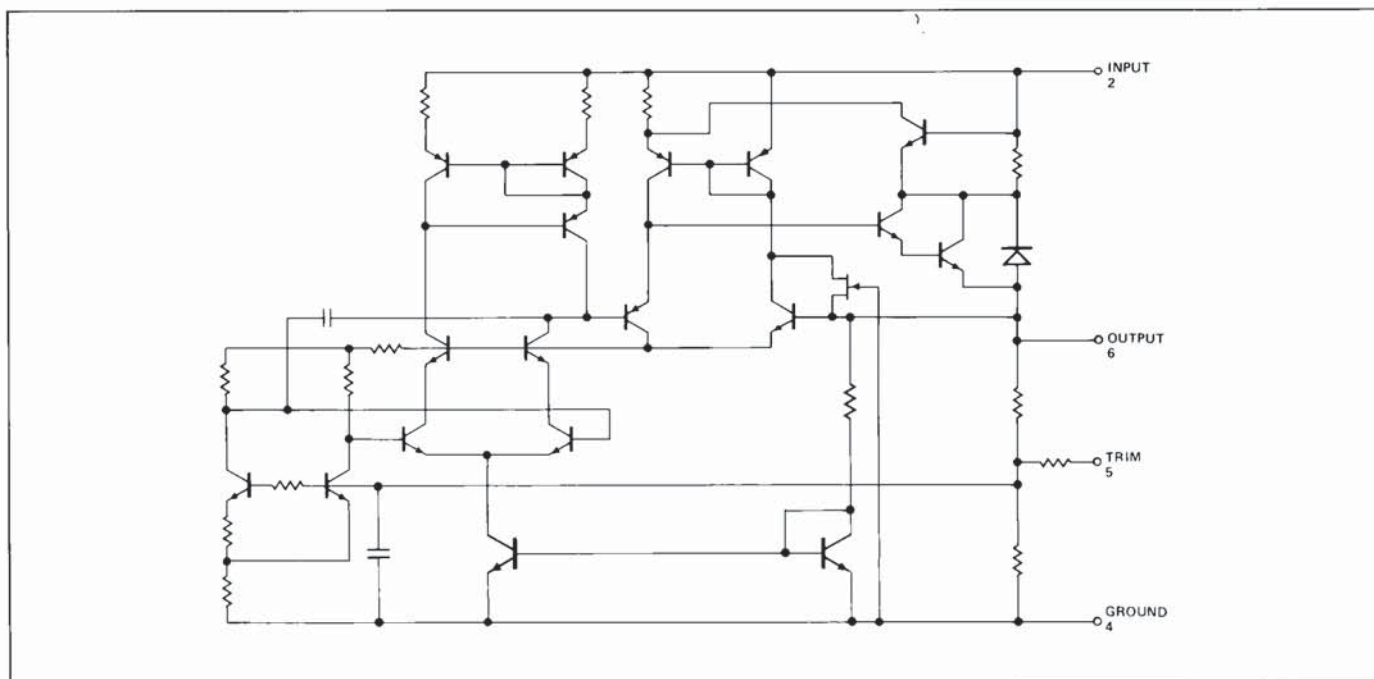
### GENERAL DESCRIPTION

The REF-03 precision voltage reference provides a stable +2.5V output, with minimal change for variations in supply voltage, ambient temperature or loading conditions. Single-supply operation over an input voltage range of +4.5V to +33V with a current drain of 1mA and good temperature stability is achieved using an improved bandgap design. Primarily targeted at price-sensitive applications, the REF-03 is available in plastic mini-dips and surface-mountable small outline plastic packages. For improved performance or -55°C/125°C operation, see the REF-43 data sheet.

### PIN CONNECTIONS



### SIMPLIFIED SCHEMATIC



### REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 617/329-4700 Fax: 617/326-8703 Twx: 710/394-6577  
Telex: 924491 Cable: ANALOG NORWOODMASS

# PCB Relay

# G5LE

## A Cubic, Single-pole 10-A Power Relay

- High Capacity (-E) versions
- Subminiature “sugar cube” relay with universal footprint.
- Conforms to EN 61810-1. UL recognized/ CSA certified.
- UL class-F coil insulation model available (UL class-B coil insulation for standard model).
- Withstands impulse of up to 4,500 V.
- 400-mW and 360-mW coil power types available.
- RoHS Compliant



## Ordering Information

Enclosure ratings	Contact form/Style	Contact material		
		AgSnO <sub>2</sub>	AgSnIn	
		Standard	Standard	High Capacity
Flux protection	SPDT	G5LE-1 G5LE-1-CF	G5LE-1-ASI G5LE-1-ASI-CF	G5LE-1-E
	SPST-NO	G5LE-1A G5LE-1A-CF	G5LE-1A-ASI G5LE-1A-ASI-CF	G5LE-1A-E
Fully sealed	SPDT	G5LE-14 G5LE-14-CF	G5LE-14-ASI G5LE-14-ASI-CF	- - -
	SPST-NO	G5LE-1A4 G5LE-1A4-CF	G5LE-1A4-ASI G5LE-1A4-ASI-CF	- - -

**Note:** When ordering, add the rated coil voltage to the model number.

Example: G5LE-1 DC12  

 Rated coil voltage

## Model Number Legend

G5LE - - DC

### 1. Number of Poles

1: 1 pole

### 2. Contact Form

None: SPDT

A: SPST-NO

### 3. Enclosure Ratings

None: Flux protection

4: Fully sealed

(Not applicable with -E versions)

### 4. Contact Material

None: AgSnO<sub>2</sub> (AgSnIn for -E versions)

ASI: AgSnIn

### 5. Insulation System

None: Class B (Class F for -E versions)

CF: Class F (UL and CSA only)

### 6. Classification

E: High capacity type

### 7. Coil Power Consumption/Coil Characteristic

None: Approx. 400 mW (Approx. 700mW for -G versions)

36: Approx. 360 mW (Not applicable for -G versions)

### 8. Approved Standards

None: UL, CSA, and VDE

### 9. Packaging

None: Standard polystyrene tray

SP: Anti-static tube packaging

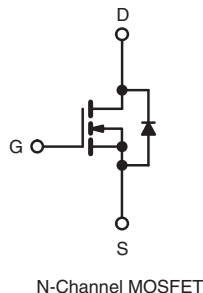
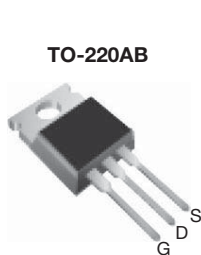
### 10. Rated Coil Voltage

5, 9, 12, 24, 48 VDC

## Power MOSFET

### PRODUCT SUMMARY

$V_{DS}$ (V)	100	
$R_{DS(on)}$ ( $\Omega$ )	$V_{GS} = 10\text{ V}$	0.16
$Q_g$ (Max.) (nC)	26	
$Q_{gs}$ (nC)	5.5	
$Q_{gd}$ (nC)	11	
Configuration	Single	



### FEATURES

- Dynamic  $dV/dt$  Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- 175 °C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



Available  
**RoHS\***  
COMPLIANT

### DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

### ORDERING INFORMATION

Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF530PbF SiHF530-E3
SnPb	IRF530 SiHF530

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_C = 25\text{ °C}$ , unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	$V_{DS}$	100	V
Gate-Source Voltage	$V_{GS}$	$\pm 20$	
Continuous Drain Current	$I_D$	14	A
Pulsed Drain Current <sup>a</sup>	$I_{DM}$	56	
Linear Derating Factor		0.59	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy <sup>b</sup>	$E_{AS}$	69	mJ
Repetitive Avalanche Current <sup>a</sup>	$I_{AR}$	14	A
Repetitive Avalanche Energy <sup>a</sup>	$E_{AR}$	8.8	mJ
Maximum Power Dissipation	$P_D$	88	W
Peak Diode Recovery $dV/dt$ <sup>c</sup>	$dV/dt$	5.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	- 55 to + 175	°C
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 <sup>d</sup>	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw	10	lbf · in
		1.1	N · m

#### Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 25\text{ V}$ , starting  $T_J = 25\text{ °C}$ ,  $L = 528\text{ }\mu\text{H}$ ,  $R_g = 25\text{ }\Omega$ ,  $I_{AS} = 14\text{ A}$  (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 14\text{ A}$ ,  $dI/dt \leq 140\text{ A}/\mu\text{s}$ ,  $V_{DD} \leq V_{DS}$ ,  $T_J \leq 175\text{ °C}$ .
- 1.6 mm from case.

\* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

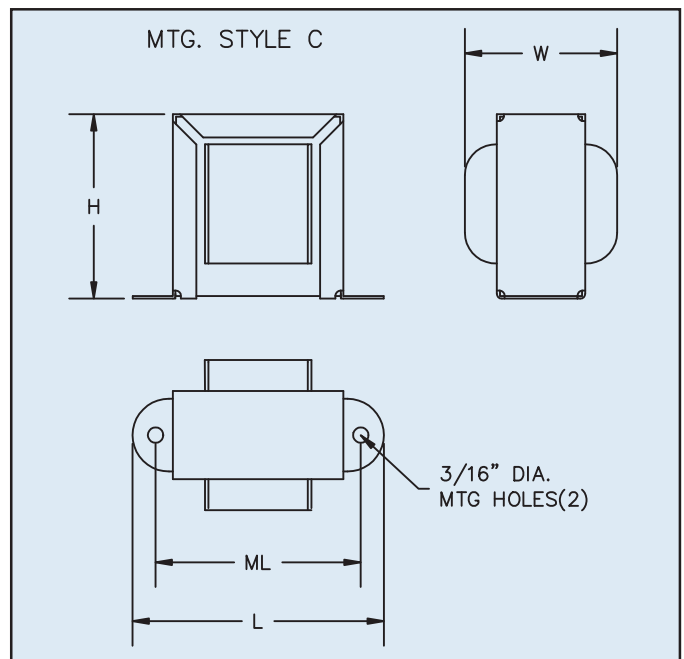
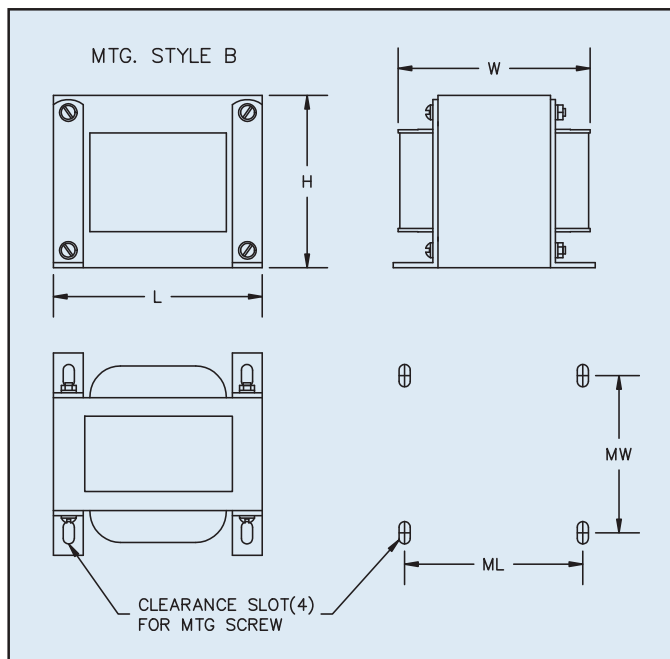
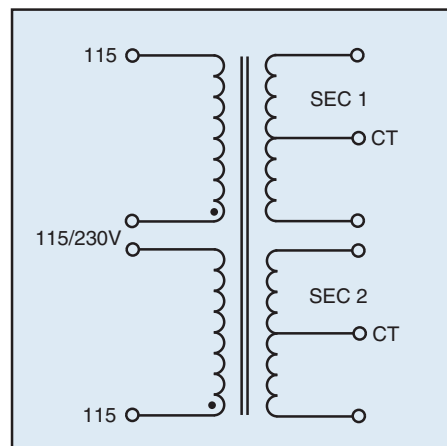
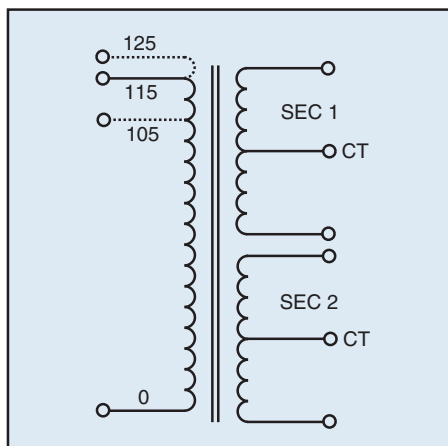
# Conventional Rectifier Power Transformers Chassis Mount



Signal's rectifier power transformers provide a wide variety of outputs. This series of conservatively designed transformers is manufactured using traditional materials and layer wound techniques.

## General Specifications

- Power - 10 VA to 2800 VA
- Dielectric Strength - 1500 Vrms Hipot
- Primaries - Single, tapped or dual primaries, 105V, 115V, 125V, 230V - 50/60 Hz
- Secondaries - Dual center tapped windings may be connected in series or parallel
- Insulation System - Class B insulation, 130° C



Custom versions available upon request.

©2008 Signal Transformer — Specification subject to change without notice. 07.08

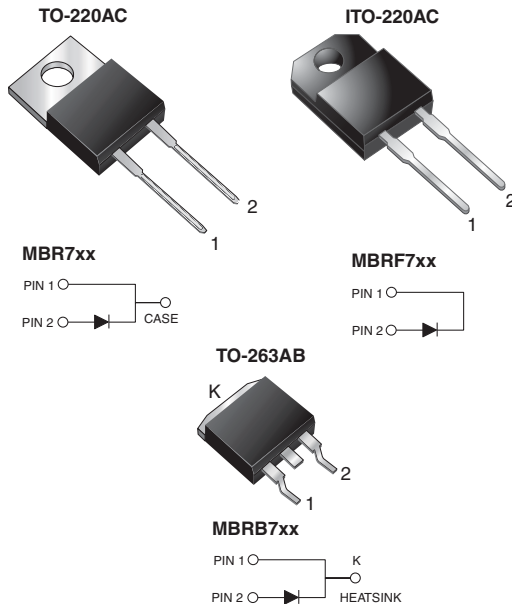


500 Bayview Avenue, Inwood, NY 11096  
Toll Free 866-239-5777 • Tel 516-239-5777 • Fax 516-239-7208  
sales@signaltransformer.com • techhelp@signaltransformer.com





## Schottky Barrier Rectifier



## FEATURES

- Power pack
- Guardring for overvoltage protection
- Low power loss, high efficiency
- Low forward voltage drop
- High forward surge capability
- High frequency operation
- Meets MSL level 1, per J-STD-020, LF maximum peak of 245 °C (for TO-263AB package)
- Solder bath temperature 275 °C maximum, 10 s, per JESD 22-B106 (for TO-220AC and ITO-220AC package)
- AEC-Q101 qualified
- Material categorization: For definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)

RoHS  
COMPLIANT

## TYPICAL APPLICATIONS

For use in low voltage, high frequency rectifier of switching mode power supplies, freewheeling diodes, DC/DC converters, and polarity protection application.

## MECHANICAL DATA

**Case:** TO-220AC, ITO-220AC, TO-263AB

Molding compound meets UL 94 V-0 flammability rating  
Base P/N-E3 - RoHS-compliant, commercial grade  
Base P/NHE3 - RoHS-compliant, AEC-Q101 qualified

**Terminals:** Matte tin plated leads, solderable per J-STD-002 and JESD 22-B102

E3 suffix meets JESD 201 class 1A whisker test, HE3 suffix meets JESD 201 class 2 whisker test

**Polarity:** As marked

**Mounting Torque:** 10 in-lbs maximum

## PRIMARY CHARACTERISTICS

$I_{F(AV)}$	7.5 A
$V_{RRM}$	35 V to 60 V
$I_{FSM}$	150 A
$V_F$	0.57 V, 0.65 V
$T_J \text{ max.}$	150 °C
Package	TO-220AC, ITO-220AC, TO-263AB
Diode variations	Single

MAXIMUM RATINGS ( $T_C = 25\text{ °C}$  unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	MBR735	MBR745	MBR750	MBR760	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V <sub>RRM</sub>	35	45	50	60	V
Working peak reverse voltage	V <sub>RWM</sub>	35	45	50	60	
Maximum DC blocking voltage	V <sub>DC</sub>	35	45	50	60	
Maximum average forward rectified current (fig. 1)	I <sub>F(AV)</sub>	7.5				A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I <sub>FSM</sub>	150				
Peak repetitive reverse surge current at t <sub>p</sub> = 2.0 μs, 1 kHz	I <sub>RRM</sub>	1.0		0.5		
Voltage rate of change (rated V <sub>R</sub> )	dV/dt	10 000				
Operating junction temperature range	T <sub>J</sub>	- 65 to + 150				°C
Operating storage temperature range	T <sub>STG</sub>	- 65 to + 175				
Isolation voltage (ITO-220AC only) from terminal to heatsink t = 1 min	V <sub>AC</sub>	1500				V

## Signature SERIES



### High Strength Framing

Proven to withstand load pressure of 5400PA and wind pressure of 2400PA, our custom framing has been designed and refined over Sun Earth's 45 year history using high quality, long lasting components.



### Power Tolerance

With a 0 to +5W power tolerance range, our industry leading modules outperform many other products and ensure a greater return on your investment.



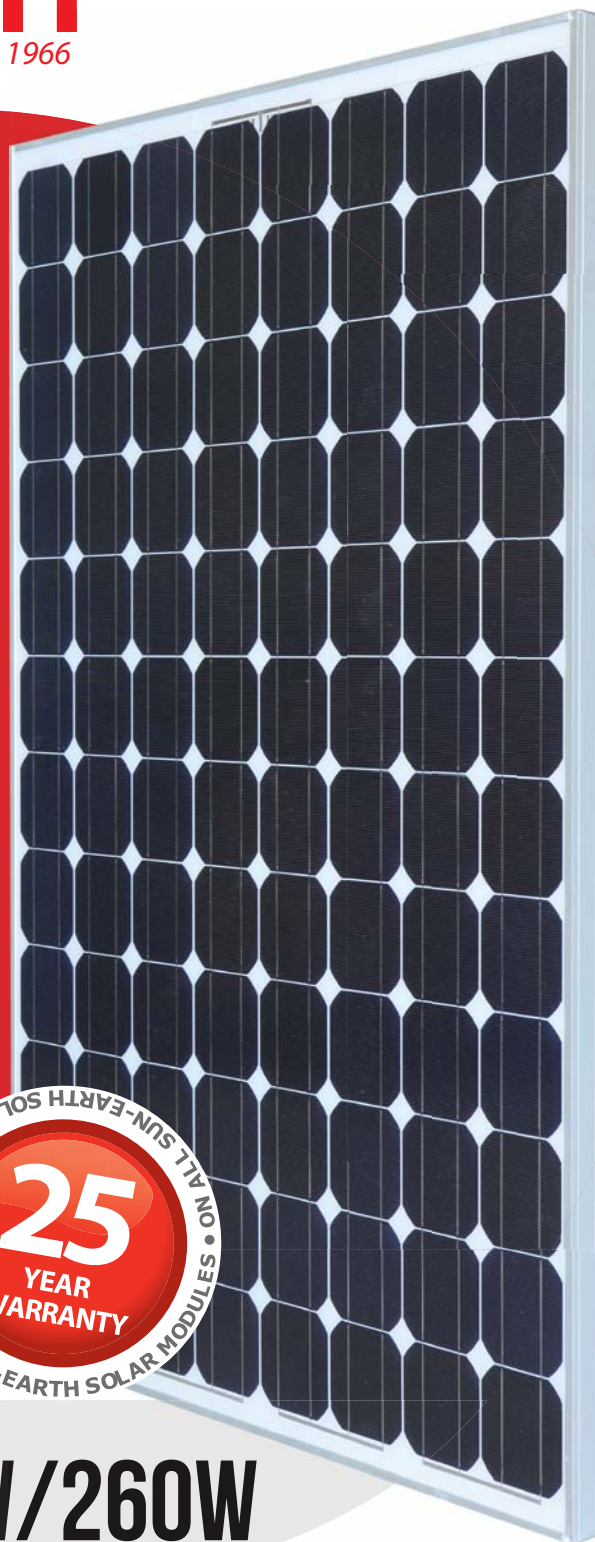
### Anti-reflective Glass

Even in low light conditions the anti-reflective coating on all Sun Earth modules reduce the loss of light and contribute to higher power generation overall.



### Bypass Diodes

The additional diodes ensure minimal power is lost under low light or shaded conditions, benefitting the power generation of each module.



## MONO-CRYSTALLINE

## TDB 125X125-96-P 250W/260W



# TL2575, TL2575HV 1-A Simple Step-Down Switching Voltage Regulators

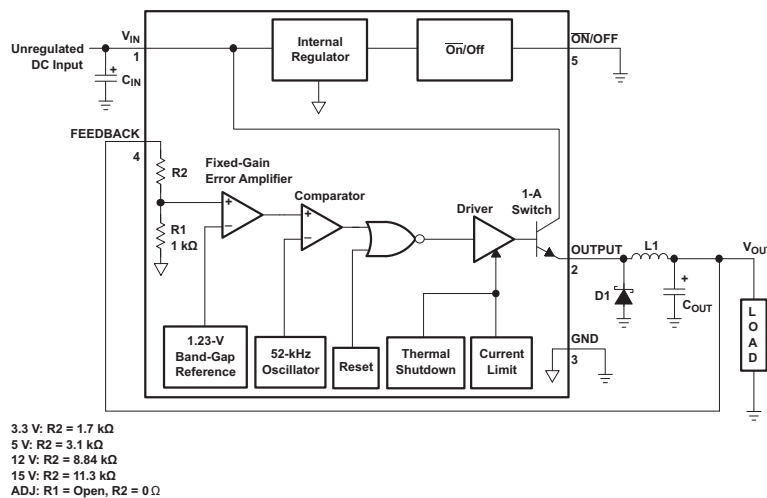
## 1 Features

- Fixed 3.3-V, 5-V, 12-V, and 15-V Options with  $\pm 5\%$  Regulation (Max) Over Line, Load, and Temperature Conditions
- Adjustable Option With a Range of 1.23 V to 37 V (57 V for HV Version) and  $\pm 4\%$  Regulation (Max) Over Line, Load, and Temperature Conditions
- Specified 1-A Output Current
- Wide Input Voltage Range
  - 4.75 V to 40 V (60 V for HV Version)
- Requires Only Four External Components (Fixed Versions) and Uses Readily Available Standard Inductors
- 52-kHz (Typ) Fixed-Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability With 50- $\mu$ A (Typ) Standby Current
- High Efficiency
  - As High as 88% (Typ)
- Thermal Shutdown and Current-Limit Protection with Cycle-by-Cycle Current Limiting

## 2 Applications

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulators
- Pre-Regulators for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive-to-Negative Converters (Buck-Boost)

## 4 Functional Block Diagram



Pin numbers are for the KTT (TO-263) package.

## 3 Description

The TL2575 and TL2575HV devices provide all the active functions needed for a step-down (buck) switching regulator in an integrated circuit. They require four to six external components for operation. They accept a wide input-voltage range of up to 60 V (TL2575-HV) and are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5 V, 12 V, 15 V, or an adjustable-output version. The TL2575 and TL2575HV devices have an integrated switch capable of delivering 1 A of load current, with excellent line and load regulation. The device also offers internal frequency compensation, a fixed-frequency oscillator, cycle-by-cycle current limiting, and thermal shutdown. In addition, a manual shutdown is available via an external ON/OFF pin.

Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
TL2575, TL2575HV	PDIP (16)	19.31 mm x 6.35 mm
	TO-263 (5)	10.16 mm x 8.93 mm
	TO-220 (5)	10.16 mm x 8.82 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

